



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“DISEÑO DE UN SISTEMA PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA DE
ALIMENTACIÓN A LA CALDERA PARA PREVENIR LA CORROSIÓN EN LA
PLANTA DE LÁCTEOS DE TUNSHI”**

TESIS DE GRADO

PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

PRESENTADO POR

ALVARO LUIS COLCHA CAMBAL

RIOBAMBA-ECUADOR

2013

Agradezco a Dios, por brindarme todas las bendiciones, la sabiduría y la fuerza necesaria para alcanzar mi gran sueño.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a la Escuela de Ingeniería Química, por brindarme los conocimientos necesarios y a mis maestros al Ing. Gonzalo Sánchez e Ing. Marco Chuiza, que por su apoyo, dedicación, conocimiento y experiencia me supieron guiar.

Dedico este trabajo a mis Padres: Luis y Susana que con su esfuerzo y apoyo incondicional hicieron de mí una mejor persona y con su ejemplo hicieron que llegue a cumplir mi sueño tan anhelado.

A mis hermanos Denis y Jhonny que con sus ánimos y apoyo me dan fuerza para continuar y poder ser su ejemplo a seguir.

NOMBRE

FIRMA

FECHA

Dr. Silvio Álvarez

DECANO FAC. CIENCIAS

.....

.....

Ing. Mario Villacrés

DIRECTOR ESC. ING. QUÍMICA

.....

.....

Ing. Gonzalo Sánchez

DIRECTOR DE TESIS

.....

.....

Ing. Marco Chuiza

ASESOR DE TESIS

.....

.....

Tc. Carlos Rodríguez

DIRECTOR CENTRO
DE DOCUMENTACIÓN

.....

.....

NOTA DE INFORME:

.....

“Yo, **Alvaro Luis Colcha Cambal, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados
expuestos en esta tesis, y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenece a la
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO”**

INDICE DE ABREVIATURAS

EDTA	Ácido etilendiaminotetraacetico
BHP	Caballos vapor caldera
HP	Caballo de potencia
cm ²	Centímetro cuadrado
cm	Centímetro
E	Eficiencia
eq/l	Equivalentes por litro
gal	Galón
gpg	Granos por galón
°C	Grados centígrados
g	Gramo
h	Hora
Kg/cm ²	Kilogramos por centímetro cuadrado
Kg/m ³	Kilogramos por metro cúbico
Km	Kilometro

kg	Kilogramo
L	Litros
m	Metro
ml	Mililitros
min	Minutos
mg	Miligramos
mg/l	Miligramos por litro
mm	Milímetros
μ	Micra
M	Molaridad
M(1,2 o 3)	Muestra
N	Normalidad
ppm	Partes por millón
%	Porcentaje
pHs	Potencial hidrogeno de saturación
pH	Potencial de hidrogeno

s	Segundos
S	Siemens
T	Temperatura
Unid	Unidades
V	Volumen

ÍNDICE

Pp:

PORTADA

AGRADECIMIENTO

DEDICATORIA

HOJA DE FIRMAS

HOJA DE RESPONSABILIDAD

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE GRÁFICOS

ÍNDICE DE ANEXOS

RESUMEN	i
---------	---

SUMARY	ii
--------	----

INTRODUCCIÓN	iii
--------------	-----

ANTECEDENTES	v
--------------	---

JUSTIFICACIÓN	vi
---------------	----

OBJETIVOS	vii
-----------	-----

CAPÍTULO I	Pp:
1 MARCO TEÓRICO	28
1.1 GENERALIDADES DEL AGUA	28
1.1.1 CICLO HIGROLÓGICO Y LAS AGUAS NATURALES.	28
1.1.2 CLASIFICACIÓN DE IMPUREZAS CONTENIDAS EN EL AGUA.	28
1.1.3 EFECTO DE LAS IMPUREZAS CONTENIDAS EN EL AGUA.	29
1.2 LA CALDERA Y SU OPERACIÓN	30
1.2.1 LA CALDERA	30
1.3 TIPOS DE CALDERAS	34
1.3.1.1 Calderas Incrustadas	34
1.3.1.2 Calderas No Incrustadas	35
1.3.1.3 Calderas de alta y baja presión.	36
1.4 PROBLEMAS EN CALDERAS Y ACONDICIONAMIENTO DEL AGUA.	38
1.4.1 CORROSIÓN	38
1.4.1.1 Velocidad de corrosión y causas.	38
1.4.1.2 Fragilización caustica	39
1.4.1.3 Daños mecánicos producidos por la corrosión.	41
1.4.1.4 Protección y prevención de la corrosión.	41
1.4.2 INCRUSTACIÓN	42
1.4.2.1 Precipitados más frecuentes	44
1.4.2.2 Riesgos de operación y daños mecánicos producidos por incrustaciones	46

1.4.3	COMO DEFORMAR LOS CRISTALES DEPOSITADOS (DESINCRUSTACIÓN).	47
1.4.3.1	Protección y prevención contra la incrustación.	48
1.4.4	ESPUMEO	49
1.4.4.1	Protección y prevención del espumeo.	50
1.4.5	ARRASTRE	51
1.5	PROGRAMA PARA EL TRATAMIENTO DE LAS CALDERAS.	52
1.5.1	FINALIDAD DE LOS TRATAMIENTOS PARA CALDERAS	52
1.5.2	PROPIEDADES DEL AGUA DE ALIMENTACIÓN.	53
1.5.2.1	Dureza del agua:	54
1.5.2.2	Valor de acidez o alcalinidad (pH).	54
1.5.2.3	Presencia de sílice y hierro.	55
1.5.2.4	Cloruros.	55
1.5.2.5	Alcalinidad total.	55
1.5.2.6	Ingredientes activos.	55
1.5.2.7	Variantes en el régimen de purga.	56
1.5.3	DETERMINACIÓN DEL TIPO DEL TRATAMIENTO DEL AGUA DE ALIMENTACIÓN.	56
1.6	PROCESOS AUXILIARES DE PURIFICACIÓN	58
1.6.1	TRATAMIENTOS FÍSICOS	58
1.6.1.1	FILTRACIÓN	58
1.6.1.2	DESGASIFICACIÓN.	59

Pp:

1.6.2	ABLANDAMIENTO DE AGUAS POR PRECIPITACIÓN QUÍMICA.	61
1.6.2.1	La cal o hidróxido de calcio	61
1.6.2.2	Carbonato de sodio	62
1.6.2.3	La soda caustica.	62
1.6.2.4	Hidróxido y carbonato de bario.	62
1.6.2.5	Fosfato trisódico.	63
1.6.2.6	Coagulantes (aluminato de sodio)	64
1.6.3	TRATAMIENTOS INTERNOS Y TRATAMIENTOS EXTERNOS.	64
1.6.4	TRATAMIENTO DE AGUAS POR INTERCAMBIO IÓNICO	66
1.6.4.1	Características de los Intercambiadores.	68
1.6.4.2	Clasificación de los intercambiadores.	69
1.6.4.3	Intercambiadores iónicos más empleados.	70

CAPÍTULO II

2	PARTE EXPERIMENTAL	81
2.1	MUESTREO	81
2.1.1	LOCALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	81
2.1.2	PROCEDIMIENTO PARA LA RECOLECCIÓN DE MUESTRAS	82
2.1.2.1	Muestras representativas.	82
2.2	METODOLOGÍA	83

	Pp:
2.2.1 MÉTODOS Y TÉCNICAS	84
2.2.1.1 Métodos	84
2.2.1.2 Técnicas	84
2.3 DATOS EXPERIMENTALES	97
2.3.1 DIAGNOSTICO	97
2.3.2 DATOS	97
2.3.2.1 Caracterización del agua	97
2.3.2.2 Tablas de caracterización del agua, análisis físico-químicos.	98
CAPÍTULO III	
3 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN	101
3.1 CÁLCULOS	101
3.1.1 DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO	101
3.1.1.1 Determinar el volumen de agua de alimentación	102
3.1.1.2 Determinar la dureza del agua en granos por galón (gpg).	103
3.1.1.3 Determinar la alimentación de agua máxima a la caldera.	103
3.1.1.4 Determinar los granos totales de dureza a remover por día.	103
3.1.1.5 Capacidad promedio del ablandador.	104
3.1.1.6 Cálculo de la eficiencia del ablandador	105
3.1.1.7 Mantenimiento del ablandador.	105

Pp:

3.1.1.8 Cálculo de la eficiencia del ablandador después del mantenimiento del ablandador.

108

3.1.1.9 Cálculo de la cantidad mínima a utilizarse del compuesto ADL (TQ-SOFT-ADL).

Sin la implementación del ablandador.

108

3.1.1.10 Cálculo de la eficiencia del tratamiento con la utilización de compuesto ADL (TQ-SOFT-ADL)

112

3.1.1.11 Cálculo de la cantidad del compuesto ADL (TQ-SOFT-ADL) a emplearse en el tratamiento de agua de alimentación, en la caldera de Lácteos “Tunshi”

112

3.1.1.12 Cálculo de la cantidad mínima a utilizarse del compuesto ADL (TQ-SOFT-ADL).

Con la implementación del ablandador.

113

3.1.1.13 Cálculo de la cantidad del compuesto ADL (TQ-SOFT-ADL) a emplearse en el tratamiento de agua de alimentación, en la caldera de Lácteos “Tunshi”

116

3.2 RESULTADOS.

116

3.2.1 RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS EN EL TRATAMIENTO DEL AGUA DE ALIMENTACIÓN EMPLEANDO EL ABLANDADOR.

116

3.2.2 RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS EN EL TRATAMIENTO DEL AGUA DE ALIMENTACIÓN DESPUÉS DEL MANTENIMIENTO EMERGENTE DEL ABLANDADOR.

118

3.2.3 RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS EN EL TRATAMIENTO DEL AGUA DE ALIMENTACIÓN EMPLEANDO EL COMPUESTO ADL (TQ-SOFT-ADL). SIN EMPLEAR EL ABLANDADOR

119

Pp:

3.2.4 RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS EN EL TRATAMIENTO DEL AGUA DE ALIMENTACIÓN EMPLEANDO EL COMPUESTO ADL (TQ-SOFT-ADL). EMPLEANDO EL ABLANDADOR	120
3.3 PROPUESTA	120
3.4 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.	123
CAPÍTULO IV	
4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	128
4.1 CONCLUSIONES	128
4.2 RECOMENDACIONES	130
BIBLIOGRAFÍA	135
ANEXOS	138

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA:

Pp:

TABLA 1.3-1 LÍMITES DE CONTENIDO DE ELEMENTOS EN AGUA DE ALIMENTACIÓN.....	37
TABLA 1.4-1 PRINCIPALES SALES CAUSANTES DE INCRUSTACIÓN.....	44
TABLA 1.4-2 INCRUSTACIONES EN CALDERAS DE VAPOR.....	47
TABLA 1.5-1. CLASIFICACIÓN DE LA DUREZA POR LA ASTM	54
TABLA 1.5-2. RANGO DE ACIDEZ O ALCALINIDAD	54
TABLA 2.3-1 DATOS PROMEDIO DE CARACTERIZACIÓN FISICO-QUÍMICA DEL AGUA ANTES DEL ABLANDADOR.	98
TABLA 2.3-2 DATOS PROMEDIO DE CARACTERIZACIÓN FISICO-QUÍMICA DEL AGUA DESPUÉS DEL ABLANDADOR.....	99
TABLA 3.1-1 PREPARACIÓN DE DILUCIONES PRIMARIAS.....	109
TABLA 3.1-2 MEZCLA APROPIADA DE LA DILUCIÓN	110
TABLA 3.1-3 OBTENCIÓN DE LA DILUCIÓN ÓPTIMA DE ADL.....	110
TABLA 3.1-4 VALORES DE LA DUREZA CON LA DILUCIÓN ÓPTIMA.....	111
TABLA 3.1-5 PREPARACIÓN DE DILUCIONES PRIMARIAS.....	113
TABLA 3.1-6 MEZCLA APROPIADA DE LA DILUCIÓN.	114
TABLA 3.1-7 OBTENCIÓN DE LA DILUCIÓN ÓPTIMA DEL ADL.	115
TABLA 3.1-8 VALORES OBTENIDOS DE DUREZA CON LA DILUCIÓN ÓPTIMA..	115
TABLA 3.2-1 ANÁLISIS DE AGUA TRATADA CON RESINA DE INTERCAMBIO IÓNICO.	116

TABLA 3.2-2 ANÁLISIS DE AGUA TRATADA CON RESINA DE INTERCAMBIO IÓNICO.	118
TABLA 3.2-3 ANÁLISIS DE AGUA TRATADA CON COMPUESTOS QUÍMICOS	119
TABLA 3.2-4 ANÁLISIS DE AGUA TRATADA CON COMPUESTOS QUÍMICOS ..	120
TABLA 3.4-1 TRATAMIENTO CON ADL (TQ-SOFT-ADL).....	125
TABLA 3.4-2 TRATAMIENTO CON ADL (TQ-SOFT-ADL).....	126

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO:

Pp:

GRÁFICO 1.2-1 CALDERA DE VAPOR PIROTUBULAR.....	33
GRÁFICO 1.2-2 INCRUSTACIONES EN LOS TUBOS DE HUMO.....	35
GRÁFICO 1.3-1 CORROSIÓN EN LAS CALDERAS DE VAPOR.....	42
GRÁFICO 1.5-1 EQUIPOS QUE INTERVIENEN EN EL TRATAMIENTO DEL AGUA	58

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO:	Pp:
ANEXO I DIAGRAMA DE LA PLANTA DE LACTEOS TUNSHI.....	138
ANEXO II CAMBIO DEL TANQUE DE ALIMENTACIÓN	139
ANEXO III IMPLEMENTACIÓN DE BOMBA DOSIFICADORA.....	140
ANEXO VI ABLANDADOR Y TANQUE DE SALMUERA.....	141
ANEXO V TANQUE DE ALMACENAMIENTO AGUA TRATADA.....	142
ANEXO VI LA CALDERA	143
ANEXO VII INCRUSTACIONES	144

SUMMARY

The purpose of this investigation is to Design a Water Treatment System supply for preventing boiler corrosion at Tunshi Dairy Plant.

In order to carry out the research two methods, i.e. experimental and inductive were applied for conducting water supply physical and chemical analyses which diagnosed the current water state supply to the boiler; this was done with the purpose of preventing from causes, effects and damage that the water does on the steam generators. Portable equipment was used for In Situ testing; the physical-chemical analysis was performed by means of using laboratory techniques and materials based on APHA, AWWA WPCF 17ED. Standard Methodologies.

As a result of the above, it can be said that: The water hardness supply presents a 223.2 ppm value; regeneration and activation of the resin, which is contained in the softener, is carried out achieving this way a considerable 98.2 ppm diminishing; however, this water showed to be inappropriate for human consumption, a ADL compound (TQ-SOFT-ADL) is used as a chemical treatment for human consumption water, total hardness of the water reduction is reached obtaining 0 ppm values, which are within the established parameters.

It can be concluded that the treatment system using chemical compound ADL (TQ-SOFT-ADL) will reduce water hardness, in 0.005 liters of ADL (TQ-SOFT-ADL) concentration per liter of water.

It is recommended that the study and programming be executed by means of applying new technologies in order to improve vapor generation systems.

RESUMEN

El Diseño de un Sistema para el Tratamiento del Agua de Alimentación a la Caldera para prevenir la Corrosión en la Planta de Lácteos “Tunshi”.

Se aplicó el método de investigación experimental e inductivo, se llevaron a cabo análisis físico - químico del agua de alimentación, para diagnosticar el estado actual del agua de alimentación a la caldera, con la finalidad de prevenir y evitar causas, efectos y daños que ocasiona el agua en los generadores de vapor. Se emplearon equipos portátiles para las pruebas In situ, los análisis físico-químico se realizaron mediante técnicas y materiales de laboratorio basados en los Métodos Normalizados APHA, AWWA WPCF 17 ed.

Como resultados obtenidos tenemos que: La dureza del agua de alimentación presenta un valor de 223.2 ppm, se realiza la regeneración y activación de la resina contenida en el ablandador, logrando una disminución considerable a 98.2 ppm, pero no idónea como agua de alimentación. Se emplea un compuesto ADL (TQ-SOFT-ADL) como tratamiento químico para aguas de alimentación, se logra una total disminución de la dureza del agua llevándolo a valores de 0 ppm, condiciones que están dentro de parámetros.

A partir del diseño concluyo que el sistema de tratamiento con la utilización del compuesto químico ADL (TQ-SOFT-ADL), reducirá la dureza del agua, con una concentración de 0.005 litros de ADL (TQ-SOFT-ADL) por cada litro de agua.

Se recomienda la ejecución del estudio y la programación de otros, con la aplicación de nuevas tecnologías, mejorar el sistema de generación de vapor.

INTRODUCCIÓN

El proceso de corrosión es un problema que afecta de una u otra manera a las industrias, pues todos los medios son en algún grado corrosivos y deben ser vistos como un hecho que pone en evidencia el proceso natural de que los metales vuelven a su condición original y con ello conlleva al deterioro del mismo, provocando muchas consecuencias a mediano y largo plazo como son: la falla prematura de los elementos de las maquinas, disminución de la resistencia mecánica de las piezas, fallas de plantas industriales, gastos innecesarios, etc.

Las incrustaciones consisten en la formación de una capa de materia sólida en la superficie de calentamiento de las calderas por el lado del agua. Esta capa sólida ésta formada por sales que entran a la caldera disueltas en el agua.

Un recubrimiento de incrustación de 1.6 mm de espesor en los tubos de agua expuestos al calor radiante puede producir la rotura del tubo, aumentan el deterioro del rendimiento calorífico, consumo de combustible. A consecuencia de la porosidad de las incrustaciones, cuando el agua entra en contacto con el hierro sobrecalentado, aumenta su concentración en sosa cáustica y provoca corrosiones, al disociarse el oxígeno que ataca el hierro, las incrustaciones bloquean la acción adecuada de los controles como el McDonnell e incluso válvulas de seguridad.

En la Planta de Lácteos de la Estación Experimental “Tunshi”, existen problemas en la generación de vapor especialmente en el Agua de Alimentación a la Caldera, para lo cual se diseñó de un sistema para el tratamiento del agua de alimentación a la caldera para prevenir la corrosión en la Planta de Lácteos, partiendo de análisis in situ y experimentales a nivel de laboratorio, permitiendo hacer un diagnóstico de los equipos, líneas de conducción y accesorios. Con esta información y cálculos posteriores se ejecuta soluciones ini ⁱⁱⁱ tas y

de emergencia, mediante la implementación de un tratamiento anticorrosivo y antincrustante que ayudará a reducir dichos problemas.

Este tratamiento a base de resinas de intercambio y tratamientos químicos para aguas de calderas ADL (TQ-SOFT-ADL), se aplicara mediante dosificación manual o automática a la línea del agua de alimentación a la Cadera, la cual ayudará a disminuir incrustaciones y corrosión en la Generación de Vapor, garantizando la integridad de las instalaciones, personal y la disminución de costos de operación.

ANTECEDENTES

La Planta de Lácteos Tunshi de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo es uno de los principales proveedores en la ciudad de Riobamba, de productos como leche y queso, distribuyendo al comedor Politécnico, al Hospital General Docente de Riobamba y al Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social (IESS).

Esto se logró gracias a la donación de varios equipos obtenidos a través del convenio con Japón, al tener una buena calidad de productos y su aceptación al público se optó por comercializar los productos.

La Planta de Lácteos de Tunshi posee una producción de 1200 litros de leche pasteurizada, 40 litros de yogur y 450 quesos como promedio mensual, por lo cual se emplea grandes cantidades de vapor para la realización de todos estos procesos.

Para la producción del vapor necesario, la planta cuenta con una Caldera tipo Piro-tubular, la misma que viene operando desde el año de 1995, durante este tiempo se desconoce de la ejecución de un plan adecuado para el manejo y el mantenimiento del equipo.

Debido a la falta de una apropiada infraestructura y la poca o nula planificación de un tratamiento idóneo del agua de alimentación a la caldera, esta se ha ido deteriorando con el tiempo y por ende la disminución del rendimiento del equipo.

JUSTIFICACIÓN

Este trabajo de investigación se realizará en la PLANTA DE LÁCTEOS DE LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL DE TUNSHI, ubicada en el Km 7^{1/2} vía a Licto, en el proceso de Generación de Vapor, área en la cual desarrollaré mi tesis.

La eficiencia con que operan las calderas de vapor, y por consiguiente el costo de operación de estas, así como la seguridad en su operación y su durabilidad, depende en gran medida de la calidad del agua con que se alimentan. El tratamiento que se requiere dar al agua, tanto el externo como el interno, se lograra mediante un diseño de un sistema para el tratamiento del agua de alimentación a la caldera para prevenir la corrosión en la Planta de Lácteos Tunshi, para asegurar que todos los efectos nocivos de los compuestos acarreados por el agua sean reducidos a al mínimo.

La caldera viene operando por un periodo de 17 años, durante el cual no se ha realizado ningún tipo de tratamiento para prevenir problemas de corrosión.

Es por esta razón se plantea la presente investigación, que ayudara a disminuir problemas relacionados a la corrosión, como son: incremento de costos, disminución del rendimiento, gasto excesivo de agua, combustible y mantenimiento.

OBJETIVOS

GENERAL

Diseñar un sistema para el tratamiento del agua de alimentación a la caldera para prevenir la corrosión en la Planta de Lácteos de Tunshi”

ESPECÍFICOS

- Realizar el análisis físico-químico del agua de alimentación de la Caldera.
- Diagnosticar el estado actual de la Caldera de la Planta de Lácteos Tunshi.
- Plantear el sistema de tratamiento adecuado para el agua de alimentación en función de los resultados obtenidos.
- Determinar el incremento en la eficiencia después de la aplicación del sistema de tratamiento planteado en la Caldera de la Planta de Lácteos Tunshi.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1 MARCO TEÓRICO

1.1 GENERALIDADES DEL AGUA

En la naturaleza no es posible encontrar agua pura, sino que cualquiera que sea su procedencia siempre contendrá disueltos y en suspensión una cantidad considerable de impurezas. Estas impurezas las ha ido absorbiendo el agua de los diferentes medios por donde ha tenido que atravesar antes de llegar al punto de donde la tomamos.

1.1.1 Ciclo higrológico y las aguas naturales.

El ciclo inicia con la evaporación de grandes masas de agua hacia la tropósfera. Una vez evaporada, se condensa al entrar en contacto con corrientes de aire frío que producen lluvia y nieve.

El agua de lluvia tiene un pH menor que la proveniente de pozos, ríos, lagos o mares, carece de amortiguadores que lo mantengan neutro en presencia de dióxido de carbono y contaminantes como óxido de azufre, nitrógeno y el oxígeno de la atmósfera.

Se llevan a cabo reacciones ácido-base, donde los ácidos del agua de lluvia (dióxido de carbono, dióxido de azufre y monóxidos de carbono) neutralizan las bases de las rocas, principalmente en aguas subterráneas con alta resistencia. Los minerales aumentan el nivel de sales disueltas.

El nivel de contaminación dependerá de las condiciones atmosféricas y climáticas de la región donde precipite, las características geológicas del terreno y de su distribución como aguas superficiales o subterráneas.

1.1.2 Clasificación de impurezas contenidas en el agua.

- Si la impureza es un sólido soluble, aparecerá en disolución.

- Si el sólido no es soluble en agua, está en suspensión.
- Aquellas impurezas de naturaleza gaseosa que son parcialmente solubles están en estado de absorción en el agua.
- Las soluciones coloidales tienen partículas en suspensión, entre ellas las que están en estado de disolución y las que están en suspensión. Los coloides se definen como aquellas partículas menores de 0.2 micrómetros y mayores que 0.001 micrómetros en solución.

1.1.3 Efecto de las impurezas contenidas en el agua.

- Disminución de la vida útil de los equipos por gases que lleva el vapor.
- Mal rendimiento de los equipos que usan vapor contaminado.
- Perdidas caloríficas por purgas frecuentes.
- Costos elevados de limpieza, reparaciones e inspecciones, entrenamiento y equipo de reserva.
- Arrastre de aguas sucias y minerales por el vapor.
- Ataque de picado por presencia de oxígeno disuelto.
- Corrosión y fragilidad en el acero.
- Averías en tubos y planchas por la disminución de la cantidad de calor transmitido.
- Obstrucción en las redes de distribución de los circuitos de refrigeración, por la proliferación de algas y bacterias.
- Incrustaciones que generan obstrucción en la redes de distribución, en los circuitos de calentamiento, de refrigeración y de manera particular en los intercambiadores de temperatura, así como una reducción de la cantidad de calor transmitido en las superficies de calderas.

1.2 LA CALDERA Y SU OPERACIÓN

1.2.1 LA CALDERA

Es una máquina o dispositivo de ingeniería diseñado para generar vapor. Este vapor se genera a través de una transferencia de calor a presión constante, en la cual el fluido, originalmente en estado líquido, se calienta y cambia su fase.

La caldera es todo aparato de presión donde el calor procedente de cualquier fuente de energía se transforma en energía utilizable, a través de un medio de transporte en fase líquida o vapor.

La caldera es un caso particular en el que se eleva a altas temperaturas de intercambiadores de calor, en la cual se produce un cambio de fase. Además, es recipiente de presión, por lo cual es construida en parte con acero laminado a semejanza de muchos contenedores de gas.

Debido a las amplias aplicaciones que tiene el vapor, principalmente de agua, la caldera es muy utilizada en la industria, a fin de generarlo para aplicaciones como:

- Para la esterilización, era común encontrar calderas en los hospitales, las cuales generaban vapor para "esterilizar" el instrumental médico; también en los comedores, con capacidad industrial, se genera vapor para esterilizar los cubiertos, así como para elaborar alimentos.
- Para calentar otros fluidos, como por ejemplo, en la industria petrolera, la industria láctea, etc.
- Generar electricidad a través de un ciclo Rankine. La caldera es parte fundamental de las centrales termoeléctricas.

Las condiciones de operación de una caldera determinan el tratamiento adecuado, conformadas por el circuito completo de generación de vapor, en las cuales se describen las siguientes:

- Presión de trabajo.
- Horas de trabajo diario.
- Presencia o ausencia de unidades de tratamiento externo (suavizadores, desmineralizadores, desaireadores, desgasificadores.)
- Aplicación del vapor.
- Existencia o no de retorno de condensado.
- Caballaje de la caldera en HP.

Los diferentes valores en presión de diseño para calderas, inciden en los rangos permisibles de algunos de los parámetros a medirse y para lograr adecuarlos a las necesidades, los cambios en las dosificaciones se hacen presentes.

Determinar el valor de la presión como una de las condiciones de operación es imprescindible antes de recomendar un tratamiento, a mayor presión de trabajo, más riesgo de corrosión cáustica, esto ocurre al metal que está sometido a gran tensión en altas temperaturas. La variación de rangos es inversamente proporcional a la presión.

Cada industria tiene requerimientos específicos de vapor, por lo que la caldera trabaja con tiempo variable, esta condición tiene como consecuencia que el consumo de químicos sea distinta para todos los casos, dicho de otra manera, a menor tiempo de trabajo de la caldera menor consumo de productos.

El desempeño de las unidades de tratamiento externo es afectado por la saturación de las impurezas que se eliminan del agua, desperfectos mecánicos o simplemente por la desatención de los operadores; cuando esto ocurre, su rendimiento es nulo, esto significa, que la maquina no trabaja.

El agua dentro de la caldera requiere tener siempre los ingredientes activos que mantengan en rango los parámetros, los tratamientos externos, pueden fallar en momentos inesperados y si no existe un adecuado tratamiento, corre el riesgo de graves problemas.

No todas las calderas generan vapor, existen algunas que únicamente llevan el agua a una temperatura que no es la ebullición, afectando el control en los rangos. La dosificación de productos químicos hay que redefinirla, a fin de mantener las condiciones requeridas en cada caso.

El retorno de condensado produce problemas en el agua, ya que puede tener productos corrosivos de la tubería de vapor, forman depósitos altamente aislantes en las superficies de la caldera. El control de los principales agentes corrosivos del vapor, es una función de la regulación del pH.

El HP es una medida de la capacidad o tamaño de una caldera, se define 1HP como 0.92m^2 de superficie de transferencia de calor, a mayor HP de potencia, mayor será la superficie de caldeo, y por lo tanto mayor consumo de agentes activos para proteger el área.

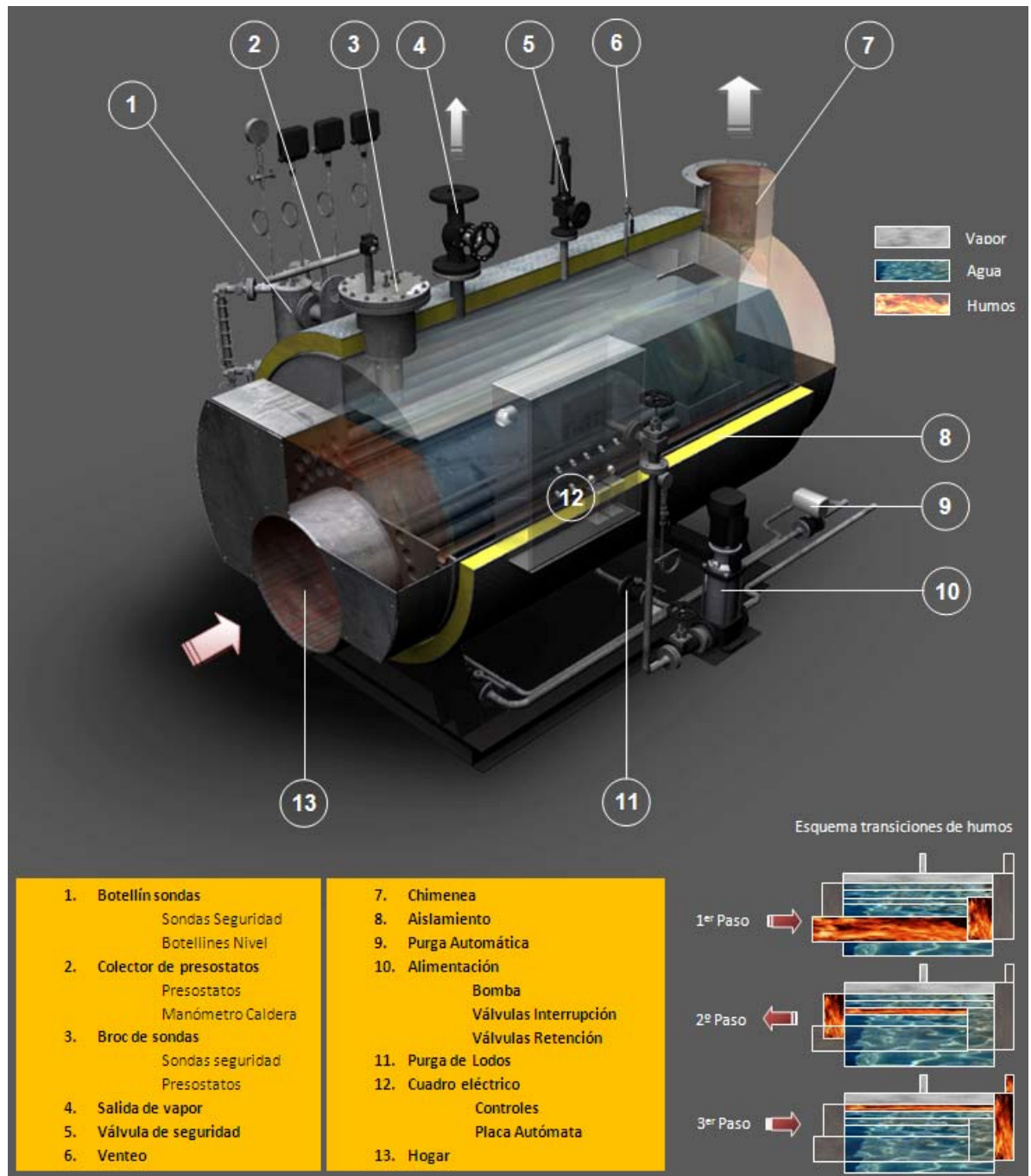


Grafico 1.2-1 CALDERA DE VAPOR PIROTUBULAR

1.3 TIPOS DE CALDERAS

1.3.1.1 Calderas Incrustadas

La mejor manera de tratar una caldera en este estado, es por medio de un des-incrustante. Es operación, ósea, con la maquina en marcha, es un proceso lento, al estar gobernado por áreas resultantes libres de depósitos en remoción.

Incrementar el régimen de purgado por acumulación de las capas incrustantes desprendidas, precipitan en la parte inferior de la caldera que encuentran en la purga una única vía de salida; esto implica accionar todas las válvulas para evitar taponamientos.

Los lavados periódicos son necesarios cuando está bajo un proceso de des-incrustación, ayuda no solo a evacuar constantemente de los residuos incrustantes sino monitorea el tratamiento. La periodicidad de los lavados depende de los requerimientos de operación.

Las calderas de tubos de agua son las más difíciles de desincrustar y exigen las purgas con mayor frecuencia que las de cuerpo cilíndrico, siendo las ventajas del tratamiento del agua tanto mayores cuanto más restringido sean los espacios de agua de la caldera. ¹

¹PULL., E., Calderas de vapor., Editorial Gustavo Gili S.A., Barcelona.



Grafico 1.3-1 INCRUSTACIONES EN LOS TUBOS DE HUMO

1.3.1.2 Calderas No Incrustadas

Referente a las calderas nuevas o con tubos totalmente limpios, en los que los problemas generados por el agua son:

- Formación de incrustaciones.
- Corrosión y oxidación dentro de la caldera.
- Corrosión de tubería de vapor y condensado.
- Arrastre.

Los ingredientes requeridos para su neutralización son:

- Secuestrante de dureza.
- Secuestrante de oxígeno.
- Alcalinizante.

La diferencia en los tratamientos de calderas incrustadas y no incrustadas, es la adición del des-incrustante, para caldera en marcha hacerlo con el límite superior de los rangos.

1.3.1.3 Calderas de alta y baja presión.

El tratamiento para el agua de calderas como acondicionamiento, sufre variación con respecto al valor de su presión de trabajo. Algunos parámetros exigen reducir su rango permisible a medida que la presión de trabajo asciende, tal es el caso de la sílice, que es necesario controlar su concentración en calderas de alta presión, es la más firme, tenaz y difícil de eliminar de todos los minerales disueltos, apta para transportarse con el vapor.

Los depósitos de sílice semejantes a los del vidrio, inhiben la transferencia térmica provocando quemaduras de tubo y cuando se deposita sobre los alabes de turbinas se reduce la eficiencia, provocando un desequilibrio del rotor, ocasionando paradas prematuras y costosas.

Tabla 1.3-1LÍMITES DE CONTENIDO DE ELEMENTOS EN AGUA DE ALIMENTACIÓN.

Presión de trabajo (Kg/cm²)	Oxígeno disuelto (ppm)	Hierro (ppm Fe)	Sólidos Totales (ppm)	Dureza total (ppm CaCO₃)	Alcalinidad total (ppm CaCO₃)	Conductividad (μSiems/cm)
0 – 20	0.04	0.100	3500	0.300	350	3500
21 – 30	0.04	0.050	3000	0.300	300	3000
31 – 42	0.007	0.030	2500	0.200	250	2500
43 – 52		0.025	2000	0.200	200	2000
53 – 63		0.020	1500	0.100	150	1500
64 – 70		0.020	1250	0.050	100	1000
71 – 105		0.010	1000	---	---	150
106 – 140		0.010	750	---	---	100

Fuente: ASME (Comité de investigación.)

1.4 PROBLEMAS EN CALDERAS Y ACONDICIONAMIENTO DEL AGUA.

1.4.1 CORROSIÓN

La corrosión es el ataque de las paredes metálicas de las calderas por la acción de las impurezas contenidas en el agua.

1.4.1.1 Velocidad de corrosión y causas.

Depende de las siguientes condiciones:

- Formación de un área aniónica.
- Formación de un área catódica.
- Establecimiento de un medio electrolítico para transferencia de cargas.

Los factores que causan la corrosión son:

- Inapropiada dosificación de productos químicos.
- Baja relación pH/alcalinidad.
- Presencia de oxígeno disuelto.
- Alto contenido de sólidos disueltos.
- Alto contenido de material suspendido
- Presencia de dióxido de carbono y otros gases disueltos.

La forma más común de corrosión es el ataque al acero por el oxígeno, acelerado por las altas temperaturas y pH bajo. Ingresa al agua de alimentación cuando la caldera opera a baja carga y en la puesta en marcha. Produce un ataque de picado en el metal (ataque en zona localizada) y óxido de hierro al unirse al metal de la caldera.

La acidez o alcalinidad del agua, gobernada por el pH es otra causa de corrosión. Un pH igual a siete crea una condición neutra, con un valor menos se considera acida y existe corrosión por acidez. Cuando el pH es superior a siete (mayor de doce) es alcalina; este valor es crítico y ocurre por fragilidad caustica.

Un medio electrolítico (interacción de cargas eléctricas opuestas), causa corrosión, el total de sólidos disueltos conformado por impurezas con cargas eléctricas negativas, reaccionan con el hierro de la caldera que tiene carga positiva. Un adecuado régimen de purga, reduce el riesgo de corrosión por sólidos altos.

1.4.1.2 Fragilización caustica

Se conoce como fragilización a la disminución de la resistencia mecánica de las piezas de la caldera debido a la formación de grietas intergranulares en el acero, que son originadas por la alta alcalinidad del agua complicada con otras circunstancias.

La soda cáustica fue considerada por mucho tiempo como la causante única de la fragilización cáustica considerada como una forma especial de su ataque sobre la superficie total de acero, pero luego se encontró que la soda cáustica pura no produce rupturas intergranulares. Posteriormente, se comprobó que es la sílice, aún en pequeñas cantidades la que modifica el ataque general superficial de la soda en una corrosión selectiva intergranular.

Anteriormente, la ASME, propuso ciertas relaciones fijadas de las cantidades de sulfatos y alcalinidad para cada presión de trabajo, diciendo que si se mantenían estas relaciones, se estaría protegiendo la fragilización y se explicaba esta protección suponiendo que los sulfatos al cristalizar en las grietas originales del metal evitaban que llegaran hasta allí la soda cáustica y la sílice y efectuaran su acción nociva.

En la actualidad las relaciones sulfato-alcalinidad, no se mantienen, pues no se ha comprobado su efecto por ninguna investigación realizada, además la práctica en los ferrocarriles norteamericanos, muestra también que el sulfato de sodio es ineficaz para prevenir la fragilización.

Ninguna de las sales inorgánicas que normalmente se encuentran en el agua de las calderas presentan acción protectora contra la fragilización caustica, incluyendo entre estas sales el sulfato de sodio usado para mantener las relaciones sulfato-alcalinidad de la ASME. Según estos señores, el nitrato de sodio combinado con conjuntos orgánicos, es el que mejores resultados produce.

Los sistemas de ferrocarriles norteamericanos recomiendan el uso del nitrato de sodio y afirman que con él, han eliminado las rupturas en todo el sistema ferroviario, afirmando también, que el sulfato de sodio no previene ni retarda las rupturas de las calderas.

Se ha propuesto y patentado el uso de los fosfatos como preservativos de la fragilización, pero estos no han dado resultados satisfactorios.

También se han usado taninos que según parecen forman una capa protectora en la pared metálica aislándola del ataque de la soda cáustica.

En general, las opiniones de los expertos, fabricantes y operadores en que la solución a este problema se encuentra en el mejoramiento de la calidad del material y la forma de construcción de la caldera. En este sentido, se ha modificado la forma de unir los tubos de combustión con los cabezales que antes se hacían engargolándolos y ahora son fundidos o forzados para así disminuir la posibilidad de que se formen pequeñas grietas originales que pueden ser después los puntos donde se concentre la soda cáustica.

1.4.1.3 Daños mecánicos producidos por la corrosión.

La reacción del hierro de la caldera y el agua se acelera con el oxígeno, los óxidos ferrosos de forma localizada origina poros en el metal.

El oxígeno reacciona con el hidrogeno permitiendo la disolución gradual de más hierro. Las picaduras son acusadas en zonas sometidas a esfuerzos durante la fabricación de la caldera, tales como las soldaduras, secciones trabajadas en frio o discontinuidades del metal.

1.4.1.4 Protección y prevención de la corrosión.

La mejor forma de protección es eliminar las causas de la corrosión. La adición de un secuestrante en el tratamiento del agua, mantiene libre de oxigeno el área de transferencia de calor, que por reacción lo precipita y expulsa en la purga.

Una de las funciones del tratamiento interno es mantener un pH alcalino (10.5-12.0) a través de alcalinizantes. Un valor dentro del rango establecido, mantiene las condiciones óptimas contra la corrosión y el desempeño de los ingredientes.

La cantidad de sólidos disueltos permisibles dentro de una caldera está en función de la presión de trabajo, teniendo un máximo de tres mil quinientos ppm, sobrepasando este valor corre el riesgo de corrosión electrolítica.

Una adecuado régimen de purga mantiene control en los sólidos, es directamente proporcional a la cantidad de la medición, en otras palabras, a mayor cantidad de sólidos, mayor cantidad de purgas.



Grafico 1.4-1 CORROSIÓN EN CALDERAS DE VAPOR

1.4.2 INCRUSTACIÓN

La incrustación consiste en la formación de una capa de materia sólida en la superficie de calentamiento de las calderas por el lado del agua. Esta capa sólida está formada por sales que entran a la caldera disueltas en el agua, ya dentro de ella se precipitan o cristalizan debido a la fuerte concentración que sufren al evaporarse grandes cantidades de agua.

La formación de las incrustaciones puede efectuarse por tres mecanismos.

- Por asentamiento y cementación de los sólidos en suspensión.
- Por cristalización espontánea de las sales al sobresaturarse el agua efectuándose esta cristalización preferentemente sobre las superficies de calentamientos debido a la disminución de la solubilidad de algunas sales causadas por la temperatura ligeramente más alta que hay en la película de líquido que está en contacto directo con la superficie de calentamiento.
- Por la evolución de las burbujas en las superficie de evaporación, depositándose todas aquellas sales que venían en solución, en la superficie seca donde la burbuja se está desprendiendo de la placa metálica.

La incrustación se supone que se forma por uno u otro de estos mecanismos según el tipo de caldera o la región de ella que se considera; así el primer tipo se puede presentar en las calderas marinas y en las tubulares de retorno, el segundo tipo se presenta en aquellas superficies de la caldera donde no hay evaporación, el tercero en las calderas acuatubulares.

Cualquiera que sea la forma como se produzca la incrustación, siempre habrá una tendencia a que se reincorpore al agua y solo se formara una incrustación estable cuando la velocidad con que se forma sea mayor que la de su reincorporación al agua.

Tabla 1.4-1 PRINCIPALES SALES CAUSANTES DE INCRUSTACIÓN.

NOMBRE	SÍMBOLO
Carbonato de calcio.	CaCO_3
Carbonato ácido de calcio.	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$
Cloruro de calcio.	CaCl_2
Nitrato de calcio.	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$
Sulfato de calcio.	CaSO_4
Carbonato de magnesio.	MgCO_3
Carbonato ácido de magnesio.	$\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$
Sulfato de magnesio.	MgSO_4
Cloruro de magnesio.	MgCl_2
Nitrato de magnesio.	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$
Óxido férrico.	Fe_2O_3
Dióxido de silicio.	SiO_2

1.4.2.1 Precipitados más frecuentes

Según las sales que dan origen a la incrustación, esta tendrá distintas características como consecuencia de su composición química.

Según sus características se les da las siguientes clasificaciones:

- Carbonatadas.
- Sulfatadas
- Silicosas
- Férricas.

Estas se les pueden reconocer según sus características de la siguiente manera:

- Atacándolas con ácidos fuertes, observando sus propiedades físicas que son las que efectivamente nos la hace diferenciarlas.
- Las incrustaciones carbonatadas son solubles en ácidos produciéndose un fuerte desprendimiento de burbujas de dióxido de carbono, se presenta generalmente con aspecto granular y poroso.
- Las incrustaciones sulfatadas se disuelven en ácidos calientes sin ninguna producción de burbujas, son de aspecto apretado y homogéneo, más duras y pesadas que las carbonatadas, quebradizas y difíciles de pulverizar.
- Las incrustaciones férricas son solubles en ácidos calientes produciendo una coloración café, su aspecto es de color oscuro característico, presenta propiedades magnéticas son poco duras, generalmente se presentan como consecuencia de la complicación de las otras clases de incrustación con la corrosión del metal interior de la caldera.

Lo más común es que sea una mezcla de varios de los tipos existentes, ya que el agua contiene generalmente varias sales disueltas y solo en casos muy especiales contiene un solo tipo de impurezas.

1.4.2.2 Riesgos de operación y daños mecánicos producidos por incrustaciones

Un recubrimiento de incrustación de 1.6 mm de espesor en tubos de agua expuestos al calor radiante puede producir la rotura del tubo, mientras que depósitos mayores en los tubos de fuego pueden producir pérdidas de eficiencia, aunque no son peligrosas.²

Consecuencias de las incrustaciones

- La temperatura de los humos a la salida de las calderas (de tubos de humo) aumentan el detrimento del rendimiento calorífico; el consumo de combustible y el precio del vapor aumentan paralelamente.
- El aumento en combustible y la disminución de la capacidad de la caldera debido al aislamiento y disminución de la sección libre de los fluxes; además puede ser causante de deformaciones y rupturas cuando por ser muy gruesa, origina un sobrecalentamiento de la pared metálica que llegue cerca de su punto de fusión.
- Las pérdidas de calor que causa una incrustación dependen de varios factores, tales como espesor, naturaleza y porosidad de la incrustación, diferencia de temperaturas entre las superficies externa e interna de la capa, etc. Y se puede calcular de la misma forma que se calcula la transmisión de calor a través de la pared metálica de las tuberías. Además, habrá que considerar otra pérdida debido al aumento del espesor de la capa de agua estacionaria que será mayor por la rugosidad de la superficie de la incrustación.
- A consecuencia de la porosidad de las incrustaciones, cuando el agua entra en contacto con el hierro sobrecalentado, aumenta su concentración en sosa cáustica y provoca corrosiones; al disociarse el oxígeno naciente, ataca el hierro.

² KOHAN., A., Manual de Calderas., Tomo II., España – Madrid., Mc-Graw Hill, S.A., 2000.

- Las incrustaciones bloquean la acción adecuada de los controles como el McDonnell (nivel de agua) e incluso las válvulas de seguridad.

Una incrustación de decimas de milímetro de espesor es suficiente (particularmente si es una incrustación silícica y de una caldera de alta presión) para que la temperatura del metal sobrepase los 600 °C, límite en el cual el acero pierde resistencia mecánica precisa.³

Tabla 1.4-2 INCRUSTACIONES EN CALDERAS DE VAPOR

ESPESOR DE INCRUSTACIONES	PERDIDA DE CALOR QUE SE PRODUCE	AUMENTO CONSUMO COMBUSTIBLE EQUIVALENTE
0.8 mm	8 %	2.0 %
1.6 mm	12%	2.5 %
3.2 mm	20%	4.0 %

FUENTE: BERTOMEU.,RB., S.L.Dep Técnico., 1999.

1.4.3 COMO DEFORMAR LOS CRISTALES DEPOSITADOS (DESINCRUSTACIÓN).

El detener una caldera inesperadamente, por inspección o para proceder a la desincrustación, genera pérdidas, y más aún cuando se cuenta con una sola unidad de generación de vapor.

Existen tres procedimientos para llevar a cabo este proceso:

³ GERMAIN., L., ROUQUET., J., Tratamiento de aguas., España – Barcelona., Omega, S.A., 1982.

- **La desincrustación mecánica**, consiste en eliminar los depósitos incrustantes con elementos afilados o discos para pulir, los que entran en contacto constantemente contra el sarro de los tubos. Este procedimiento provoca desgaste mecánico en la tubería y reduce sus propiedades de soportar altas temperaturas y presiones para las que fueron diseñados.
- **La desincrustación con ácidos fuertes**, proceso que implica control y estructura estequiometría, requiere amortiguadores que limiten el ataque a las incrustaciones y proteja el metal. Un análisis del depósito incrustante indica los de origen mineral como la sílice u orgánico que son indiferentes a los ácidos. Finalmente proceder a la neutralización con un agente alcalino. El desecho de las soluciones ácidas, como los amortiguadores son tóxicos.
- **La mejor forma de desincrustación, es de forma lenta**, en otras palabras, con la caldera en operación, no daña el metal, protege las áreas en donde se ha ido removiendo el sarro de nuevas incrustaciones y de ataques corrosivos. Bajo la capa de incrustación a remover, actúan las temperaturas extremas, generando corrosión por sobrecalentamiento. El régimen de purga es estricto para eliminar y evitar taponamientos en los conductos.

1.4.3.1 Protección y prevención contra la incrustación.

Los grandes depósitos de incrustaciones son un indicativo de la negligencia ante un acertado tratamiento interno del agua. Existen pretratamientos para contrarrestar ese fenómeno que reducen y no eliminan el problema, consisten en ablandadores o suavizadores del agua por medio de intercambio básico, en otras palabras, intercambian iones de dureza y la resina.

Elimina depósitos incrustantes e irrumpe el mecanismo de la incrustación, un anti-incrustante controlador y depurador de las impurezas que no hayan sido retenidas por los suavizadores (incluyendo la sílice).

Es aconsejable un alcalinizante que lleve el pH a once, evita la ruptura del equilibrio carbónico, eliminando la acumulación de carbonato cálcico o magnésico.

No obviar la utilización de un anti-incrustante e como parte del tratamiento interno por tener un sistema de pre tratamiento contra la dureza. Su accionar no se limita a neutralizar sus componentes, sino corrige el efecto de otras que no retiene ningún filtro.

El equipo de tratamiento externo, tiene como limitante, la saturación de sus resinas, por el intercambio; cuando sucede, el calcio y magnesio, tienen vía libre hacia la caldera y ante la ausencia de un anti-incrustante, el riesgo de incrustación aumenta.

1.4.4 ESPUMEO

El espumeo o espumaje es un problema que frecuentemente se presenta en la operación de calderas y que consiste en la formación de una capa de espuma sobre la superficie libre del líquido dentro de la caldera. Esta capa de espuma ocupa una parte del espacio de vapor y reduce este espacio considerablemente haciendo más fácil el arrastre de agua por el vapor que sale de la caldera.

Los sólidos en suspensión en el agua de la caldera fueron considerados por mucho tiempo como los causantes del espumeo, en la actualidad se considera que no son ellos los responsables.

En la Universidad de Ohio se hicieron una serie de experimentos con una caldera pequeña para determinar el efecto que producen sobre el espumeo los precipitados de carbono de

calcio e hidróxido de magnesio formados dentro de la caldera, que son los sólidos en suspensión que más comúnmente se presentan, los resultados de sus experimentos los llevaron a la siguiente conclusión:

- El carbonato y el hidróxido de magnesio disminuyen la formación del espumeo.

En resumen estos sólidos en suspensión, no producen espumeo. Las diferentes acciones de carbonato de calcio según la forma como se precipita parece deberse a que el precipitado tiene distinta constitución física, ya que en un caso forma partículas finas, blandas y que permanecen en suspensión en una proporción elevada (precipitación en exceso de carbonato de calcio), mientras en el otro las partículas son grandes y granuladas (precipitado por descomposición de bicarbonato de calcio).

El hidróxido de magnesio envuelve a las partículas de carbonato de calcio con una capa de precipitado gelatinoso. Otras causas a las cuales se atribuye el espumeo, son la filtración de aceite que pueda entrar a la caldera mezclado con el agua de retorno de condensado procedentes de la lubricación de bombas y equipos de aprovechamiento del vapor u otras clases como desechos vegetales que vengan en el agua cruda como efecto de la filtración. Además, se considera como causa importante del espumeo la alta alcalinidad.

1.4.4.1 Protección y prevención del espumeo.

Los reactivos más usados para evitar el espumeo son:

El aluminio de sodio y los taninos que actúan como coagulantes englobando las partículas pequeñas de sólidos en suspensión y precipitando algunas de las sales disueltas.

También se ha recomendado aceite fino en pequeñas cantidades formando una película delgada sobre la superficie del líquido, evitando así la acumulación de partículas pequeñas

en suspensión que afectan la tensión superficial y originan el aumento de espuma, pero no se ha comprobado su eficiencia y en cambio se tiene el grave riesgo de que se adhiera en forma de película aislante en la superficies de calentamiento, causando pérdidas considerables de calor, además cuando el agua es alcalina puede formar jabones con el aceite, lo cual aumenta el mismo efecto que se quiere corregir.

La consecuencia más grave del espumeo se presenta en los casos en que el vapor se usa para mover turbinas, ya que las sales disueltas en el agua que se arrastran van a correr el riesgo o incrustar las hojas de la turbina.

En el caso que no se pueda controlar el espumeo por el uso de anti-espumantes se puede seguir el procedimiento recomendado por la Universidad de Illinois y que consiste en mantener una proporción de 4 o 5 partes de sulfato de sodio por cada una de hidróxido de sodio presentes en el agua de caldera. Según la recomendación, el sulfato de sodio contenido en las gotas arrastradas se seca en el sobrecalentamiento produciendo un polvo no adherente, mientras que la soda cáustica concentrada en el sobre calentador ataca las hojas de la turbina, el polvo de sulfato de sodio no solo no se adhiere, sino que limpia las otras incrustaciones que pueda haber, debido al frotamiento que produce sobre ellos.

El inconveniente que puede presentarse es que para mantener la relación de sulfato de sodio a hidróxido de sodio se tenga que aumentar mucho el contenido de sólidos disueltos.

1.4.5 ARRASTRE

El arrastre consiste en el acarreo de cantidades más o menos considerables de agua por el vapor que sale de la caldera. En muchos casos se presenta complicado por el espumeo teniendo entonces una gravedad mayor.

Los principales motivos que originan el arrastre son ajenos a la naturaleza del agua que se use, dependiendo principalmente de la forma de construcción de la caldera, principalmente de la colocación de la salida del vapor, tamaño del espacio del vapor, etc., o hasta cierto punto de la manera como se opera la caldera, variaciones bruscas del consumo de vapor, sobrecarga excesiva, etc.

Solo cuando se presenta complicado con el espumeo, es cuando se puede influir sobre el arrastre mediante el tratamiento de agua, pero solo evitando que el espumeo aumente el volumen del agua que es arrastrada.

Como las consecuencias del arrastre son de naturaleza mecánica, se ha buscado la corrección de él, mediante modificaciones en el arreglo mecánico de la caldera o mediante el uso de accesorios que detengan el agua que va con el vapor, ya sea como parte de la misma caldera o colocados en la tubería de salida del vapor.

1.5 PROGRAMA PARA EL TRATAMIENTO DE LAS CALDERAS.

1.5.1 FINALIDAD DE LOS TRATAMIENTOS PARA CALDERAS

La adición de ingredientes químicos al agua de alimentación de calderas como tratamiento interno, no consiste solamente en dosificarlos y purgar la unidad, un buen programa de tratamiento abarca más.

El producto químico combinado con un programa de dosificación, control y monitoreo, asegura:

- Una adecuada protección al circuito del vapor con un óptimo rendimiento operativo.

- Mantener los parámetros dentro del rango correspondiente, con el objeto de incrementar la vida de las unidades.

El mantenimiento programado a las unidades generadoras de vapor que han recibido tratamientos efectivos, consistirán únicamente en ajustes mecánicos y eléctricos, limpieza de hollín, cambio de empaques en tapaderas para inspección visual del agua y una ligera limpieza con bombas de agua para los tubos, estos últimos deben presentarse libres de depósitos incrustantes, ataques corrosivos o de cualquier material indeseado que interfiera con la transferencia de calor.

Una superficie de intercambio bien tratada representa minimizar el costo de mantenimiento por avería, por corrección, horas extras, reducir tiempos muertos que impiden la programación de producción, ventajas que al final se convierten en beneficios para toda empresa.

El costo por falla total o parcial de tubos, es exageradamente más alto comparado con el costo mensual de un programa de tratamiento del agua.

1.5.2 PROPIEDADES DEL AGUA DE ALIMENTACIÓN.

Para que el tratamiento sea funcional, se precisa una información detallada sobre la calidad del agua disponible que alimentara la caldera.

Cada caso de industrias se considera individualmente, en respuesta a las propiedades del agua, quiere decir, que un área cercana a volcanes, el arrastre de minerales se acrecienta, en agua de la costa, la concentración de cloruros es alta por su cercanía al mar.

Antes de definir el tratamiento se analizan los siguientes parámetros:

1.5.2.1 Dureza del agua:

Expresada en partes por millón (ppm), de carbonata de calcio, compuesto por calcio, magnesio, bario, estroncio y hierro (+1, +2).

TABLA 1.5-1. CLASIFICACIÓN DE LA DUREZA POR LA ASTM

VALOR	INDICADOR	CARACTERÍSTICA
1 – 60	ppm	Agua suave
61 – 120	ppm	Moderadamente dura
121 – 180	ppm	Dura
180	ppm	Agua muy dura

Fuente: GONZALO., R., Operación de Caderas Industriales., 2000.

El valor de este parámetro determina la dosificación del secuestrante.

1.5.2.2 Valor de acidez o alcalinidad (pH).

Se realiza la medición, con el objeto de agregar la cantidad correcta de alcalinizante para llevar el pH del valor hallado al que se requiere dentro de la caldera, sin sobrepasarlo o quedar bajo el límite inferior.

Tabla 1.5-2. RANGO DE ACIDEZ O ALCALINIDAD

VALOR	CARACTERÍSTICA
0 - 6.99	Rango acido
7	Valor neutro

7.01 – 14	Rango alcalino
10.5 – 12	Rango recomendado en Calderas
13 – 14	Rango muy alcalino

Fuente: GONZALO., R., Operación de Caderas Industriales., 2000.

1.5.2.3 Presencia de sílice y hierro.

Su control no se limita únicamente a calderas de alta presión, en la práctica se ha encontrado incrustaciones de sílice en calderas de baja presión. El valor máximo aceptado es 120 ppm.

Al airear el agua, el hierro precipita a hidróxido férrico color pardo rojizo, aguas con pH ácido contienen varias decenas de ppm de hierro. Regulando la alcalinidad y una acción efectividad del secuestrante de dureza se adsorben. Es importante la prevención de problemas derivados de estos dos minerales.

1.5.2.4 Cloruros.

Suelen encontrarse en agua naturales entre 10 y 200 ppm, en el mar existen hasta 20000 ppm. Un contenido mayor a 300 ppm crea condiciones corrosivas por acidez, adquiriendo un sabor salado, el régimen de purga mantiene la concentración permisible.

1.5.2.5 Alcalinidad total.

Conformada por carbonatos y bicarbonatos que al concentrarse generan un grado alcalino capaz de dañar los tubos por fragilidad, un valor menor al mínimo en el rango de 700 -800 ppm controlado con el purgado, produce corrosión por acidez.

1.5.2.6 Ingredientes activos.

Los rangos permisibles son los siguientes:

Secuestrante de oxígeno.

20 – 40 ppm como SO₃

Secuestrante de dureza.

30 – 40 ppm como PO_4

1.5.2.7 Variantes en el régimen de purga.

El parámetro que gobierna la variación de la purga son los Sólidos Disueltos Totales (carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos), con un máximo permisible de 3500 ppm en función de la presión de trabajo. A mayor cantidad de sólidos disueltos, incrementar el purgado.

El régimen de purgado se maximiza con una secuencia: de arriba hacia abajo, purgando primero la superficie (el nivel de agua, nivel de agua auxiliar, columna de nivel de vidrio) eso evita que las impurezas que se encuentran entre la cámara de vapor y el agua sean evacuadas antes de precipitar, luego purgar las válvulas de fondo.

El procedimiento es abrir las llaves lentamente para evitar el golpe de ariete y la rotura de tubería, cerrarlas de igual manera para no generar turbulencia en el fondo de la caldera y depositar los lodos en las partes superiores de la unidad.

La lectura en los controles de la caldera es fundamental para su operación. Una bitácora que refleje los datos obtenidos en cada hora de purga complementa el mantenimiento preventivo de la unidad, en ella se anota cualquier rango de temperatura o presión de combustible, temperatura de agua de alimentación o gases de chimenea que sean objetivo de inspección.

1.5.3 DETERMINACIÓN DEL TIPO DEL TRATAMIENTO DEL AGUA DE ALIMENTACIÓN.

La calidad del agua que va alimentar la caldera, necesita regular los agentes activos para estandarizar las variables. La cantidad requerida de productos químicos está gobernada por:

- Tamaño de la caldera (HP).

- Horas de trabajo diario.
- Presión de trabajo de la caldera.
- Producción de vapor/hora.
- Porcentaje en retorno de condensado.
- Concentración de parámetros químicos en el agua de aporte (dureza, alcalinidad, sílice, hierro, cloruros, pH y sólidos disueltos totales.)

Las calderas de acuerdo a su tamaño, tienen mayor capacidad de almacenar agua, por lo tanto, necesitarán más cantidad de productos que logren mantener condiciones adecuadas.

Un porcentaje alto de retorno de condensado genera mejor calidad en el agua al mezclarse con el agua de aporte, la dosificación tendrá variantes para la estabilización de parámetros.

El horario de trabajo de una caldera regula el consumo de productos en dosificación, una operación de 24 horas gasta mayor cantidad que un proceso de 10 o 12 horas/día, en producción de vapor.

La concentración de contaminantes del agua que va alimentar la caldera es factor indispensable de medición, para cuantificar las cantidades de ingredientes activos que neutralizaran los efectos de las impurezas y no sobre dosificar causando daños.

1.6 PROCESOS AUXILIARES DE PURIFICACIÓN

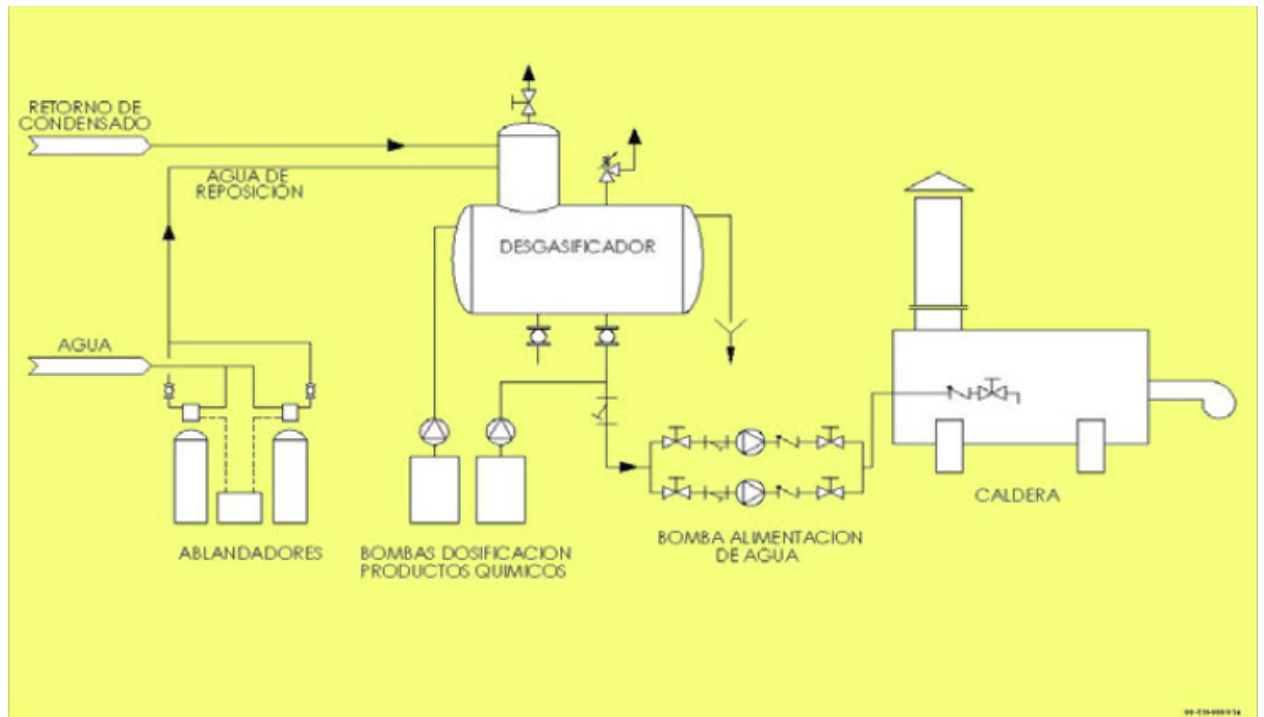


Grafico 1.6-1 EQUIPOS QUE INTERVIENEN EN EL TRATAMIENTO DE AGUA

1.6.1 TRATAMIENTOS FÍSICOS

1.6.1.1 FILTRACIÓN

Es la operación física que consiste en hacer pasar un líquido a través de un medio poroso con el fin de que este detenga las partículas sólidas que vengan suspendidas en la fase líquida.

Hay una infinidad de tipos de filtros diferentes según el material que los forma y se use como medio filtrante, el tipo de energía que se utiliza para forzar el líquido a través del filtro, etc., entre los cuales se selecciona el filtro más adecuado para la cantidad, temperatura y velocidad del agua, clase y concentración de las impurezas que van a separarse.

El filtro o recipiente que contiene el medio filtrante puede ser de madera, cemento armado, de hierro, dependiendo de las dimensiones del filtro y de la fricción de trabajo.

El medio filtrante puede ser grava o arena, silicatos duros, lavados y seleccionados o coque, dependiendo de que el agua que vaya a pasar a través del filtro este fría o caliente, usándose el coque en este último caso como precaución contra el posible arrastre de sílice que sea disuelto por el agua caliente.

Dependiendo de la energía que se use, los filtros se clasifican: de gravedad o de fricción, dependiendo de que el agua simplemente caiga de una tubería abierta o que el filtro sea cerrado y el agua se bombea con cierta fricción, también puede ser los filtros lentos o rápidos, según el gasto por unidad de área que puedan proporcionar; también debe tomarse en cuenta la cantidad de impurezas que vayan a separarse para determinar la presión de trabajo.

Según la posición que se utilizan los filtros, pueden ser horizontales o verticales. También se dividen los filtros en abiertos o cerrados.

El principal cuidado que debe tenerse en la operación de cualquier filtro, consiste en la operación de lavado, que se hace circulando agua en sentido contrario al que sigue durante la filtración; este lavado tiene por objeto eliminar del filtro las impurezas que han retenido y reacondicionar las partículas del medio filtrante con el fin de tener nuevamente una buena eficiencia.

1.6.1.2 DESGASIFICACIÓN.

Es la operación mediante la cual se le quita al agua los gases disueltos principalmente O_2 y CO_2 . Este tratamiento debe aplicarse como una medida preventiva contra la corrosión, ya que estos gases son los principales agentes corrosivos.

Pueden seguirse varios procesos diferentes para efectuar la desgasificación, entre los cuales hay unos mecánicos, otros químicos y otros mixtos.

Los procesos mecánicos generalmente se efectúan por calentamiento del agua y reducción de la presión, combinados estos con una agitación efectiva se logra la separación de los gases del seno del líquido.

Los aparatos más efectivos operan mediante una corriente de vapor que atraviesa la masa líquida calentándola y agitándola a la vez de una manera efectiva.

También se efectúa a veces la desgasificación por simple aceleración del agua en aparatos donde circula en sentido contrario una corriente de aire. Por este sistema se pueden eliminar los gases que dan mal olor al agua y el CO_2 en una proporción considerable. Se usa poco para tratar aguas para calderas, debido a que no elimina el oxígeno que es tan perjudicial en este caso.

Los procedimientos químicos consisten en el uso de sustancias que fijen el oxígeno dando productos de oxidación que no sean perjudiciales. Los reactivos más usados como fijadores de oxígeno son el sulfito de sodio que se ha utilizado desde mucho años y el hidróxido ferroso que también se ha utilizado en gran parte, pero en menor proporción que el sulfito de sodio. El sulfito de sodio tiene la ventaja sobre el hidróxido ferroso que puede mantenerse dentro de la caldera una cierta concentración preventiva para el caso de haber un aumento en la cantidad de oxígeno disuelto, mientras que el hidróxido reacciona con el agua produciendo trióxido de hierro (Fe_2O_3) que no tiene acción sobre el oxígeno disuelto en el agua.

1.6.2 ABLANDAMIENTO DE AGUAS POR PRECIPITACIÓN QUÍMICA.

El ablandamiento de las aguas por precipitación química, como su nombre lo expresa es el sistema de tratamiento que consiste en eliminar el calcio y el magnesio disuelto en el agua, precipitándolos por la acción de reactivos que se combinan con ellos para dar sales insolubles o poco solubles que después son separados del agua por alguna otra operación auxiliar, tal como sedimentación o filtrado.

Son varios los reactivos que pueden usarse para lograr la precipitación y también pueden modificarse las condiciones de operación.

El ablandamiento por precipitación puede usarse como tratamiento externo o interno, como tratamiento externo se usan los siguientes reactivos:

1.6.2.1 La cal o hidróxido de calcio

Es el reactivo más usado, principalmente por sus ventajas económicas este reactivo elimina la dureza temporal del agua al reaccionar con los bicarbonatos de calcio y magnesio para producir con ello el carbonato de calcio y el hidróxido de magnesio respectivamente, que por ser muy insolubles se separan fácilmente del agua.

Estas reacciones se efectúan en un grado más efectivo a un pH elevado, teniéndose que operar arriba de los 9.5 para obtener buenos rendimientos. El tiempo de reacción de este caso, como en la mayoría depende de un grado considerable de la temperatura a que se encuentren las sustancias reaccionantes; por eso es que este proceso que tardaría aproximadamente 6 horas en frío, se efectuara en 1 hora operando temperaturas elevadas. Esta reducción en el tiempo de reacción produce una disminución en el tamaño del equipo y en la inversión inicial del capital, ya que con tanques de reacción y sedimentación menores pueden producirse la misma cantidad de agua tratada por hora.

1.6.2.2 Carbonato de sodio

El cual tiene la ventaja de reaccionar con la dureza permanentemente, o sea con los cloruros, nitratos, sulfatos de calcio y magnesio, con los cuales produce los carbonatos de calcio insoluble y de magnesio solubles; este carbonato de magnesio puede precipitar posteriormente por la acción de la cal que lo transforma en hidróxido. El carbonato de sodio se usa combinado con la cal para lograr unablandamiento más completo y económico aprovechando de cada uno de los reactivos su acción en la parte más efectiva.

El uso de carbonato de sodio presenta dos inconvenientes que son:

- Con el magnesio no reacciona fácilmente, lo cual se supone que es debido a que se forman complejos entre ellos que estorban a la reacción principal.
- El otro inconveniente es debido a que dos átomos de sodio pesan más que uno del calcio o magnesio, la cantidad de sólidos disueltos aumenta al cambiar estos cationes en las sales que quedan disueltas en el agua, lo cual aumenta el riesgo de espumeo o de arrastre de agua en la caldera.

1.6.2.3 La soda caustica.

Es un magnifico ablandador de aguas ricas en magnesio, al cual precipita como hidróxido, pero su uso es limitado por el costo relativamente alto que tiene.

1.6.2.4 Hidróxido y carbonato de bario.

Tienen la ventaja de reducir los sólidos disueltos debido a que al eliminarse el calcio y el magnesio no son sustituidos por una catión que forma sales solubles, sino por el bario que también se precipita como sulfato, estas sales de bario solo se usan como complemento del tratamiento con cal, cuando se requiere agua con contenidos de calcio y magnesio muy

bajos, su uso está restringido por el alto precio en el mercado y no resulta económico utilizarlo.

1.6.2.5 Fosfato trisódico.

Es un reactivo ablandador de agua muy usado. Se emplea para eliminar la dureza permanente después de eliminar los carbonatos y el CO_2 libre por medio del método de la cal y el carbonato de sodio mediante su uso se ha obtenido resultados buenos y rápidos. Para usarlos se necesita llevar un control minucioso del pH del agua, pues de ello depende el que se obtengan buenos rendimientos del fosfato trisódico.

Es una condición general a todos los métodos de ablandamiento de agua por precipitación, que la acción del reactivo se efectúe completamente antes de que el agua sea sacada de los tanques de tratamiento, pues una precipitación tardía en las tuberías, causaría daños muy graves debido al depósito del precipitado y obstrucción de las tuberías conductoras del agua y de las bombas que se usen para impulsar después del tratamiento.

Con el fin de lograr esto sin tener que aumentar las dimensiones de los tanques de reacción y asentamiento debería tratar que la reacción que va a producir el precipitado, sea lo más rápido posible. Para esto se recurre a varios artificios en la manipulación de las plantas de tratamiento, tales como agregar los reactivos en forma de lechada preparada previamente en un tanque de disolución, lo cual tiene la ventaja de producir un contacto más íntimo y una mayor superficie de contacto entre los reactivos y las sales del agua que se están tratando.

Otro sistema usado para lograr la rápida terminación de la precipitación o más bien de la separación del precipitado, consiste en el uso de coagulantes que aceleren y mejoren la sedimentación aumentando el tamaño de los grupos y englobando muchas partículas pequeñas en grandes y fáciles de sedimentar.

1.6.2.6 Coagulantes (aluminato de sodio)

Es el más empleado, ya que los otros usados a base de sulfatos aumentan la dureza. El coagulante debe agregarse directamente al tanque de sedimentación sin disolución previa con el fin de evitar la formación de grumos en esa primera disolución que no englobaría partículas del precipitado y por lo tanto disminuiría el rendimiento del coagulante.

1.6.3 TRATAMIENTOS INTERNOS Y TRATAMIENTOS EXTERNOS.

El ablandamiento por precipitación como tratamiento interno se usa generalmente solo como complemento del tratamiento externo y tiene la misma finalidad que aquel, o sea precipitar las sales disueltas en el agua que tengan acción nociva sobre la caldera que esta sujeta al daño que se desea evitar.

La principal diferencia con el tratamiento externo consiste en que los reactivos van a obrar dentro de la caldera y en las condiciones que allí rigen, o sea a altas presiones y temperaturas. Además, todos los precipitados resultantes del tratamiento tendrán que extraerse mediante purgas.

Las condiciones interiores de la caldera en algunas ocasiones resultan favorables, por la aceleración que producen en las reacciones químicas, pero en cambio otras veces desplazan el equilibrio de la reacción en un sentido desfavorable. Debido a esto algunos reactivos usados en el tratamiento externo no pueden aplicarse en tratamientos internos lo mismo ocurre con otros como el sulfito de sodio destinado a la eliminación del oxígeno libre en el agua.

Los reactivos más usados en el tratamiento interno son:

- Los fosfatos mono, di, trisódico.

- El metafosfato de sodio.
- Los pirofosfatos.
- Ácido orto fosfórico.

Los cuales precipitan al calcio como $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, con lo cual se evita la incrustación, además como ya vimos tiene acción preventiva contra la fragilización caustica que es su aplicación más importante. Se debería seleccionar el fosfato que ya vaya a usar según la alcalinidad del agua, pues de ello depende la forma como reaccione.

El **carbonato de sodio** se usa en tratamiento interno para evitar la formación de incrustaciones sulfatadas, precipitando el calcio como carbonato, además por hidrolisis forma soda caustica que precipita al magnesio. En calderas de alta presión, esta hidrolisis consume gran parte del carbonato de sodio, aumentando demasiado la alcalinidad y reduciendo en un grado considerable el rendimiento del reactivo como precipitante del calcio, por lo que no es conveniente utilizarlo. Tiene además el inconveniente de aumentar el contenido de sólidos disueltos y como consecuencia de ellos se hace mayor la tendencia al espumeo y al arrastre; también al hidrolizarse produce CO_2 que se va con el vapor aumentando la proporción de gases no condensables que son un verdadero lastre para el equipo de aprovechamiento del vapor.

El **sulfito de sodio** se usa para eliminar el oxígeno que no fue separado por el desgasificador mecánico. Se acostumbra mantener una cierta concentración de sulfito en las calderas para cubrir cualquier aumento repentino del contenido de oxígeno.

Los **taninos y algunos almidones** se usan en el tratamiento interno con el fin de evitar que las partículas precipitantes se adhieran. A estos reactivos protectores se les usa combinados

con precipitantes, los cuales aumentan considerablemente su rendimiento, al ser ayudados por los protectores.

El **aluminato de sodio** se usa en el tratamiento interno como precipitante del calcio y magnesio a la vez, como coagulante formando flóculos por su reacción con la alcalinidad del agua. Debido a que actúa como coagulante no se puede determinar la cantidad que debe usarse por cálculos estequiométricos. Se le atribuye también cierta acción precipitante de la sílice como aluminio-silicatos de Ca y Mg.

El tratamiento interno casi nunca puede dosificarse correctamente desde un principio, pues las reacciones en el interior de la caldera son muy difíciles de conocer, por lo que habrá que hacer algunas modificaciones después de cierto tiempo de estudio aplicando y conforme a los cambios que se observen en los análisis del agua.

En varios manuales de tratamiento de agua se pueden encontrar graficas de las relaciones que deben mantenerse entre las concentraciones de determinadas sustancias en el agua cuando el tratamiento es correcto, estas graficas también indican cuando el tratamiento es excesivo o deficiente.

1.6.4 TRATAMIENTO DE AGUAS POR INTERCAMBIO IÓNICO

Se conoce como intercambio iónico una reacción química de doble descomposición entre solución diluida y un cuerpo solido poroso dividido en partículas pequeñas.

Esta reacción se efectúa generalmente haciendo pasar una corriente de la solución a través de un lecho o manto del solido intercambiador.

Actualmente se ha extendido este nombre a otro proceso que teniendo el mismo modo de efectuarse no constituye una reacción de doble descomposición, sino en la eliminación de

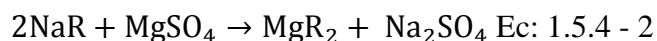
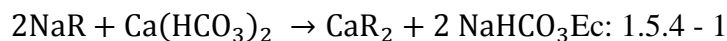
moléculas completas del seno del líquido por la acción absorbente del material que forma el lecho.

Hasta aquí la cosa no parece tener nada de extraordinario, pero si se considera detenidamente la gran rapidez y facilidad de la operación, que es idéntica a una simple filtración y lo económico en los reactivos más usados para regenerar los intercambiadores, se comprenderá la gran utilidad que pueden proporcionar y el campo tan amplio que tienen para su aplicación.

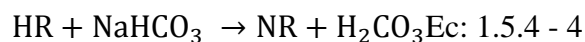
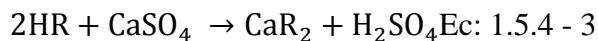
Se puede lograr la completa eliminación de las sales disueltas en el agua, obteniéndose una pureza comparable, ventajosamente con la del agua destilada producida en escala industrial y con una gran ventaja económica sobre ella, pues el costo de la des-ionización depende de la cantidad de sales eliminadas, sin importar casi la cantidad de agua en que van disueltas.

Las reacciones generales a todos los intercambiadores de iones son las siguientes:

CICLO SODIO:



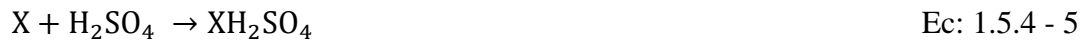
CICLO HIDROGENO:



R = Radical negativo del intercambiador de cationes.

El ácidocarbónico que producen los carbonatos al tratarlos por intercambiadores en el ciclo hidrogeno pueden eliminarse posteriormente por simple aeración.

Los demás ácidos minerales y también algunos orgánicos cuyas sales son descompuestas por los intercambiadores, pueden separarse por medio de los cambiadores de aniones o absorbentes de ácidos cuya acción puede expresarse mediante las siguientes reacciones:



X = Molecula de absorbente de acidos.

1.6.4.1 Características de los Intercambiadores.

Todos los materiales intercambiadores de aniones, como es natural, llegan a un punto de saturación en el cual ya no ejercen ninguna acción sobre el agua que pasa por ellos, es decir que el agua sale con el mismo contenido de iones con que entra. A este punto se llama de saturación total, y a la cantidad de agua tratada o más bien, a la cantidad de iones eliminados por unidad de volumen de material intercambiador, se le llama capacidad total.

En casi todas las aplicaciones de los intercambiadores no se les puede usar hasta llegar hasta ese punto, sino solamente se les emplea mientras dan un afluente o producto cuyas impurezas estén dentro de ciertos límites aceptables; por ejemplo en el caso del tratamiento de aguas, se usa solo mientras el agua que sale tiene un contenido cero de los iones que se estén eliminando. Al punto en que empieza a aparecer iones, de los que se están eliminando, en el afluente, se le da el nombre de “Punto de Desbordamiento” y la cantidad de iones eliminados por unidad de volumen de material intercambiador se le llama capacidad de desbordamiento.

Una vez que se agotado el material hasta su capacidad útil o de desbordamiento, es necesario efectuar una regeneración del material lo cual extremadamente sencillo en todos los casos y que consiste en lo siguiente:

- Suspender la corriente de agua, lavar el lecho de material intercambiador, con agua a contracorriente, desechando esta agua, hacer pasar a través del lecho una cantidad fija de una solución de concentración, dada del reactivo que se usa como regenerante.
- Enjuagar el material intercambiador para eliminar el exceso de regenerante y reanudar la corriente de agua tratada.
- Todo este proceso se reduce simplemente a cerrar unas válvulas y abrir otras según las distintas fases de la regeneración.

Los materiales que producen intercambio iónico han sido clasificados basándose en la clase de iones que eliminan y en la naturaleza del material intercambiador.

1.6.4.2 Clasificación de los intercambiadores.

INTERCAMBIADORES DE CATIONES

A. Inorgánicos

B. Naturales

- No modificados (arena verde o glauconita)
- Modificados (arena verde activada)

Sintéticos. (Gel Zeolitas sintéticas).

A. Orgánicas

B. Naturales

- No modificados (turberas, lignitos).
- Modificados (carbónes sulfonados, zeolitas)

Sintéticos. (De constitución química bien definida).

- A. Resinas tipo Tanin-Formaldehídicas.
- B. Resinas tipo Fenol-Formaldehídicas.

ABSORBENTES DE ANIONES

A. Inorgánicos.

- Naturales (dolomita).
- Sintéticos (silicatos de metales pesados).

B. Orgánicos.

- Naturales

No modificados (cuerno, lana, etc.).

Modificados (asfalto tratado con álcalis).

C. Sintéticos (resinas Amino-Formaldehídicas.).

1.6.4.3 Intercambiadores iónicos más empleados.

Naturalmente, no todos los materiales que pueden considerarse capaces de producir intercambio iónico han sido usados con resultados prácticos en el tratamiento de aguas. A continuación haremos un estudio más o menos superficial de los materiales intercambiadores usados en el tratamiento de aguas.

1.6.4.3.1 Zeolitas sintéticas.

Uno de los primeros estudios efectuados sobre el intercambio iónico, fue la obtención de zeolitas sintéticas por medio de la reacción entre el silicato de sodio y el aluminato de sodio,

o bien de aquel con el sulfato de aluminio reacciones que siguen siendo la base de muchos métodos recientes para obtener zeolitas silicosas sintéticas.

Una de las principales aplicaciones para utilizar el intercambio iónico comercialmente, fue efectuada utilizando tierra silicosa para la eliminación de la potasa en los jugos azucarados de remolacha, con el fin de aumentar el rendimiento del azúcar cristalizable.

La aplicación de las zeolitas en el tratamiento de agua fue utilizada desde el comienzo de este siglo.

Las primeras zeolitas sintéticas usadas fueron obtenidas por difusión de las materias aprobadas. Después de periodos de investigación y experimentación se logró al principio reducir bastante buenos para la época, a pesar de que eran de acción lenta, lo cual hacía que la corriente que atravesaba tuviera que ser lenta para poder lograr una agua completamente libre de dureza. Lo más que se lograba era obtener un periodo de ablandamiento de 8 a 12 horas para un equipo normal, con un periodo de regeneración que duraba un tiempo aproximadamente igual.

Con estas zeolitas la acción tan lenta resultaba muy difícil hacer frente a los aumentos bruscos de consumo y esto solo se lograba por cualquiera de los siguientes métodos: tener un equipo con capacidad igual a la necesaria para cubrir el consumo máximo, o bien tener un exceso de capacidad y tanques de almacenamiento a los cuales se recurría.

Estas zeolitas fundidas presentaban también otro inconveniente que en algunos casos resultaba muy grave y que resultaban muy sensibles al ataque de aguas altas en contenido de CO_2 ; el efecto de estas aguas sobre las zeolitas consistía en que las partículas que formaban el tamiz se volvían gelatinosas y algo gomosas, resultando impropias para su uso, tanto desde el punto de vista químico, como por su resistencia mecánica.

1.6.4.3.2 Barro bentónico.

Hallado en los Estados Unidos, con propiedades bastante fuertes de intercambiador. Se le daba a este barro un tratamiento, elaborándolo con partículas de tamaño apropiado y se sometía a un conocimiento y era un material ablandador de agua que producía resultados satisfactorios, aunque era lento en el ablandamiento y en la regeneración.

1.6.4.3.3 Arena verde o glauconita.

Descubierta en estados unidos, este nuevo material resultaba de acción más rápida que las expresadas anteriormente y gracias a esta, se pudo aumentar la velocidad de ablandamiento y regeneración.

Este material tiene mayor velocidad de ablandamiento y regeneración, pero tiene menor capacidad por unidad de volumen que los materiales usados antes, llegando a eliminar 3000 gramos de CaCO_3 por pie cubico de glauconita (7 Kg/m^3), mientras que con los anteriores se lograba eliminar de 4000 a 5000 gramos de CaCO_3 por pie cubico de zeolita (8.4 a 11.7 kg/m^3), esto por supuesto hace que se tenga que regenerar más frecuentemente; pero como la regeneración puede hacer en corto tiempo (30 min) y con un gasto menor de sal, entonces resulta que este inconveniente no tiene mucha importancia, por esto es que este material desplazo casi completamente a las antiguas zeolitas sintéticas y aun se sigue usando en muchas plantas de tratamiento de aguas.

1.6.4.3.4 Zeolitas gel.

Son zeolitas sintéticas que se emplean muy frecuentes en el tratamiento de aguas, las cuales son obtenidas por precipitación. Se obtienen mezclando soluciones de silicato de sodio y sulfato de aluminio o aluminato de sodio, en concentraciones adecuadas. Al principio no se obtiene ningún precipitado; pero después toda la masa se asienta gradualmente formando un

gel homogéneo y consiste que contiene todos los constituyentes de las soluciones reaccionantes. Este gel tiene una rigidez considerable y un contenido de agua bastante bajo, pudiéndose comparar favorablemente con una torta obtenida en un filtro prensa, por lo cual puede secarse directamente, al secarse se rompe en pequeños terrones, que al ser puestos en agua se despedazan en partículas de tamaño adecuado para ser usado en el tratamiento de agua.

Debido a que cada partícula es homogénea y de estructura fuerte y no un conglomerado de pequeñas partículas comprimidas de precipitado, no es necesario someterla a molienda o cernido.

Las zeolitas del tipo gel preparadas correctamente, sobre todo las obtenidas a partir de sulfato de aluminio, son fuertes, durables y de capacidad de intercambio bastante alta, aproximadamente de 6000 a 10000 gramos de CaCO_3 por pie cúbico (14 a 23.3 kg/m^3), según las condiciones de operación.

Gracias a su mayor capacidad, estas zeolitas pueden dar igual cantidad de agua con un equipo más pequeño, también permiten que las regeneraciones sean menos frecuentes, disminuyéndose el consumo de agua en lavados y enjuagues. Además con este material se tienen menores pérdidas de presión del agua que lo atraviesa, lo cual se debe al mayor tamaño de las partículas que dejan espacios libres mayores para el paso de la corriente de agua.

Las zeolitas poseen diferentes grados de capacidad, pero en general efectúan el intercambio de los cationes de Ca y Mg por Na que ceden de su propia molécula. Por esto todas presentan el inconveniente de que al ser usados, aumentaban el contenido de sólidos

disueltos en el agua al cambiar un átomo de calcio o de magnesio por el de sodio, el reactivo usado para la regeneración es el NaCl en solución.

1.6.4.3.5 Zeolitas Silicosas.

Los resultados que se obtienen son magníficos desde el punto de vista de la eliminación de las sales incrustantes, ya que pueden llegarse a suprimir completamente la incrustación cuando los equipos se trabajan con eficiencia alta; pero en muchos casos se presenta otro problema que es grave como el que se trataba de solucionar. Este problema consistía en el aumento del espumeo.

En la actualidad el uso de intercambiadores iónicos, presentan servicios mejores, pues se ha mejorado grandemente, con la introducción de nuevos materiales intercambiadores de distintas naturalezas que pueden regenerarse con ácidos minerales en lugar del cloruro de sodio y que por este mismo tienen un campo de mayor acción. No solo eliminan el Ca y Mg, sino también al Na y K y otros cationes cambiándolos por el ion hidrogeno que tomaron antes con que fueron regeneradas.

En estos materiales cambiadores que operan en el ciclo hidrogeno, el intercambio se produce en la misma forma, es decir mediante una reacción de doble descomposición entre las sales disueltas en el agua y el material intercambiador, solo que como vimos antes, aquí es el ion hidrogeno que va a reemplazar a los cationes de las sales disueltas.

Evidentemente, todas estas sales pasarían a la forma de ácidos libres, de los cuales el ácido carbónico se desdobla en agua y CO₂ que pueden eliminarse por simple aireación, quedando los ácidos minerales tales como el sulfúrico y el clorhídrico en solución por lo cual se deberá usar un notable descenso del pH del agua.

Estos nuevos intercambiadores también se pueden usar en el ciclo sodio, simplemente usando NaCl como regenerante, tal como se hace con las zeolitas. Los resultados son mejores que los logrados con las zeolitas, porquetienen mayor capacidad, resistencia mecánica, resistencia química y permite una velocidad más alta de flujo.

Las principales ventajas de estos materiales son:

- Reducción del contenido de sólidos disueltos en el agua, debido a que sustituyen los cationes pesados por hidrogeno que es de peso atómico menor.
- No se tiene ninguna posibilidad de arrastre de sílice procedente de la desintegración de material intercambiador.
- Se eliminan las sales de sodio, lo cual antes no se podría lograr con otros sistemas, a excepción de la evaporación.

La disminución del pH del sistema puede ser desventaja del sistema, pero puede corregirse fácilmente por medio del uso de un equipo mixto formado por dos lechos de materiales intercambiadores en depósitos separados Y trabajando en paralelo, uno de ellos en ciclo sodio y el otro en ciclo hidrogeno, mezclando en proporciones adecuadas tratadas en los dos aparatos, para obtener el pH que se desee y una reducción del contenido de sólidos disueltos, que dependerá de la proporción de la mezcla.

Cuando el agua cruda tiene muchos carbonatos se puede usar el ciclo hidrogeno solo y después de eliminar el CO₂, neutralizar los ácidos restantes por una adición de una álcalis, los ácidos disueltos serán siempre menores que si separar en el ciclo sodio, pues se ha eliminado totalmente los carbonatos y por esto mismo la cantidad de álcali que se gaste será solo lo necesario para neutralizar los ácidos minerales.

1.6.4.3.6 Zeo Karb

Material no zeolitico del que se obtuvo resultados prácticos, siendo un carbonífero sulfonado, esto se hace por medio de una sulfonación y oxidación, usando como reactivos principales el ácido sulfúrico y el óxido de zinc. Este material tienen una capacidad de 8000 a 9000 gramos de CaCO_3 por pie cubico ($23.3 - 29.12 \text{ kg/m}^3$) variando según las condiciones de regeneración y la cantidad de regenerante usados que puede ser 2.25 a 3 libras de H_2SO_4 por pie cubico de material.

1.6.4.3.7 Amberlitas

Siendo uno de los mejores intercambiadores, estas resinas sintéticas, pero a pesar de ello han llegado a un grado de adelanto considerable y todavía prometen mejorar mucho más, ampliando su campo de acción.

Entre las resinas sintéticas que se han llevado a la producción comercial como intercambiadores de cationes son las amberlitas IR-1 e IR-2.

- La amberlita IR-2 es una resina fuertemente condensada, de alta resistencia, extremadamente insoluble y que no da color al agua tratada en ella.
- La amberlita IR-1 es un producto de alta capacidad de intercambio y de una constitución tal que los afluentes producidos estén completamente libres de aquellos iones que se están produciendo.

Las amberlitas tienen estructura de gel homogéneo, como en los geles silicosos, esta forma combina una mayor superficie interior que asegura gran actividad, como una considerable resistencia mecánica.

En principio es posible preparar además de estas resinas, toda una gama de cambiadores resinosos, con las propiedades físicas y químicas que deseen.

El funcionamiento de estos intercambiadores se basa en las mismas reacciones vistas para las zeolitas y el zeo karb en los ciclos de sodio e hidrógenos respectivamente, efectuándose la regeneración con NaCl o H_2SO_4 o HCl según el caso.

La amberlita IR-1, tiene una capacidad de intercambio en el ciclo sodio hasta de 18000 gramos de $CaCO_3$ por pie cubico (35.4 Kg/m^3) con un consumo de 0.80 libras de ácido por kilogramos de $CaCO_3$ eliminado, la amberlita IR-2 tienen una menor capacidad, pero compensa esta inferioridad relativa mediante su alta resistencia mecánica y gran insolubilidad que las hacen propias para ser usadas con aguas particularmente agresivas.

1.6.4.3.8 Intercambiadores de aniones por generalización (absorbentes de ácidos)

Todos los intercambiadores resinosos son insolubles en ácidos, álcalis, soluciones salinas, agua fría o caliente hasta donde es posible actualmente determinar la solubilidad de una sustancia.

Son materiales bastante ligeros, lo cual permite que al ser lavados a contra corriente sean volteados completamente aun con corrientes lentas de agua.

Un descubrimiento más reciente aun que el de los intercambiadores de cationes capaces de operar en el ciclo hidrogeno, es el de unos de los materiales que usados en la misma forma, por simple percolación del agua, a través de ellos eliminan todos los ácidos libres que contengan en solución.

La operación de una equipo eliminador de ácidos que contengan estos absorbentes es igual a la de los equipos intercambiadores de cationes, se hace pasar el líquido que se está tratando a

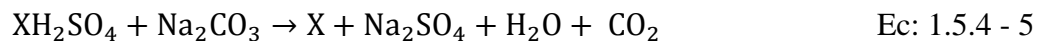
través de ellos hasta que se agotan, se lavan, se regeneran con una solución de carbonato de sodio, se enjuagan y se ponen nuevamente en el ciclo de trabajo, la regeneración en este caso se efectúa por neutralización de los ácidos absorbidos que se eliminan como sales de sodio al enjuagar después de la regeneración.

Las reacciones en que se basa la acción de estos eliminadores de ácidos son las siguientes:

Eliminacion de acidos



Regeneracion.



X → Moléculas de eliminados en ácidos.

El ácidocarbónico no es eliminado por estos materiales debido a su descomposición en agua y CO₂, pero se puede eliminar por simple aireación del agua después de los demás tratamientos.

Los materiales eliminadores de ácidos producen magníficos resultados, principalmente cuando se les usa combinados en serie con un eliminador de cationes, operando en ciclo hidrogeno, para formar una unidad “desmineralizadora” “desionizadora”.

Estas unidades reciben cualquier agua cruda libre de material en suspensión, la cual se hace pasar por el intercambiador de cationes en ciclo hidrogeno, donde todas las sales disueltas pasan a forma de ácidos libres, de ahí se les hace pasar por eliminador de ácidos y después por el desgasificador o aireador del cual se obtienen una agua libre de sólidos disueltos y tan pura como agua destilada.

CAPÍTULO II

PARTE EXPERIMENTAL

2 PARTE EXPERIMENTAL

2.1 MUESTREO

2.1.1 LOCALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El presente estudio se realizó en la Planta de Lácteos de la Estación Experimental “TUNSHI”, ubicada a 7 km vía a Licto; la cual recibe el agua de alimentación de vertientes naturales de la zona.

El principal objetivo que se busca es, establecer la calidad de un agua para su uso adecuado, así por ejemplo si se trata de una agua para consumo humano, esta no debe poseer ninguna clase de contaminación ya que provocaría una alteración en la salud del consumidor. Si se desea agua para el uso en la industria, se puede utilizar una agua proveniente de ríos, lagos, pozos o agua de lluvia; pero, el agua que se vaya a utilizar no debe ser de carácter corrosivo que es un fenómeno frecuente de las redes que se alimentan con agua de pozo, y se traduce generalmente en la aparición de corrosión en las paredes de las tuberías, esta corrosividad es con frecuencia inherente a la ausencia de oxígeno.

De igual manera se debe controlar que el agua no posea carbonatos de calcio o magnesio, los que son causantes de incrustaciones, que provocan el depósito en las cañerías, por ejemplo, en una caldera estas incrustaciones impedirán la transmisión de calor, que da lugar a recalentamientos locales y puede ser causa de explosiones cuando existe el taponamiento de las tuberías de la caldera.

Para controlar los procesos de tratamientos del agua, es necesario realizar análisis de laboratorio en forma periódica, para de esta manera conseguir los resultados deseados,

desde un líquido claro y limpio ya sea para el consumo humano o para el agua pura que exige la industria.

2.1.2 PROCEDIMIENTO PARA LA RECOLECCIÓN DE MUESTRAS

- Se debe usar botellas de vidrio o material plástico de por lo menos 2 litros, para poder realizar un análisis químico completo.
- La muestra debe ser tomada directamente de la fuente que se quiera analizar.
- En llaves de agua potable es necesario dejar correr el agua por unos segundos para luego si tomar la muestra.
- En el momento de la toma de muestra se debe realizar las siguientes pruebas:
 - Control de pH.
 - Determinar la temperatura del agua.
 - Determinar la temperatura ambiental.

2.1.2.1 Muestras representativas.

En términos generales, cuando menos tiempo transcurra entre la toma de la muestra y el análisis en el laboratorio mucho más satisfactorio serían los resultados. El tiempo máximo permitido para los diferentes análisis son de 48 horas.

Para esto se debe elegir la mejor técnica de recolección. Antes de llenar el envase destinado para la muestra se debe enjuagar tres veces con la misma muestra.

Se debe llevar un registro de cada muestra recolectada y cada frasco se debe identificar adecuadamente, para esto se utilizara una etiqueta debidamente rotulada la misma que debe constar de:

Procedencia: El lugar donde fue tomada la muestra.

Fecha y hora: Precisar día, mes y hora en la cual se tomó la muestra, y de igual manera en el instante que comiencen a realizar los análisis.

Origen: Se dará a conocer, si la muestra fue tomada de la llave, en la red o un abastecimiento de agua almacenada.

Temperatura: Determinar la temperatura del ambiente y de agua en el momento en que se muestrea.

Responsable: Debe ser completamente legible el nombre de la persona que se encargó de realizar el muestreo.

2.2 METODOLOGÍA

Metodología de trabajo.

Se recogió una muestra cada mes a lo largo de 3 meses, a las muestras se les dio el código M1, M2 y M3. Las muestras fueron trasladadas el mismo día con todos los cuidados respectivos, cumpliendo las normas de muestreo, con la finalidad de no alterar sus parámetros, las cuales fueron llevadas al laboratorio de ANÁLISISTÉCNICOS ubicado en la Facultad de Ciencias en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo para sus respectivos análisis.

Tratamiento de muestras

A las muestras recolectadas se realizaron las siguientes caracterizaciones físico-químicas: temperatura, pH, conductividad, dureza, calcio, alcalinidad, fosfatos, oxígeno disuelto, hierro, sólidos disueltos e índice de Langelier.

2.2.1 MÉTODOS Y TÉCNICAS

2.2.1.1 Métodos

Los métodos que se utilizaron están adaptados al manual “Métodos Normalizados para el Análisis de Agua Potable y Residuales”, Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF, 17 ed.

2.2.1.2 Técnicas

2.2.1.2.1 Temperatura

Se procura en lo posible realizar la medición directamente en el momento en que se realiza la toma de muestra.

2.2.1.2.1.1 Equipos:

- Termómetro en grados centígrados con intervalos de 0.5°C.

2.2.1.2.1.2 Procedimiento:

- Introducir el bulbo del termómetro en la muestra.
- Dejar unos segundos hasta que se estabilice la temperatura.
- Tomar la lectura.

2.2.1.2.2 pH.

El pH es un parámetro que nos indica la acidez o alcalinidad del agua, varía de 1 a 14. Si el agua posee un pH menor a 7 se considera ácida, caso contrario básica, igual a 7 es neutra.

2.2.1.2.2.1 Materiales y reactivos:

- pH metro.
- Vaso de precipitación (250 ml).
- Agua destilada.
- Agua problema.

2.2.1.2.2.2 Procedimiento.

- Calibrar el pH-metro.
- Colocar en un vaso de vidrio limpio un volumen de muestra suficiente como para cubrir al electrodo de vidrio.
- Sumergir los electrodos en la muestra y suavemente revuelva a una velocidad constante para proporcionar la homogeneidad y suspensión de los sólidos, y esperar hasta que la lectura se estabilice.
- Anotar el valor de la lectura.

2.2.1.2.3 Conductividad.

Es la capacidad de una solución para transportar corriente eléctrica, dicha capacidad depende de la presencia de iones y su concentración total, de su movilidad valencia y sus concentraciones relativas, así como de la temperatura.

2.2.1.2.3.1 Materiales y reactivos:

- Conductímetro.
- Vaso de precipitación (250 ml).

- Agua destilada.
- Agua problema.

2.2.1.2.3.2 Procedimiento.

- Colocar en un vaso de vidrio limpio un volumen de muestra suficiente como para cubrir al electrodo del conductímetro.
- Sumerja el conductímetro en la muestra y suavemente revuelva.
- Anote el valor de la lectura del conductímetro, por facilidad del trabajo es mejor programar al conductímetro para tener medidas en micro siemens.

2.2.1.2.4 Dureza

Es producida sobre todo por las sales de calcio y magnesio, y en menor proporción por el hierro, el aluminio y otros metales. La que se debe a los bicarbonatos y carbonatos de calcio y magnesio se denomina dureza temporal y puede eliminarse por ebullición, que al mismo tiempo esteriliza el agua. La dureza residual se conoce como dureza no carbónica o permanente. Las aguas que poseen esta dureza pueden ablandarse añadiendo carbonato de sodio y cal, o filtrándolas a través de resinas naturales o artificiales que absorben los iones metálicos que producen la dureza y liberan iones de sodio en el agua. Los detergentes, contienen ciertos agentes separadores que inactivan las sustancias causantes de la dureza de la agua.

2.2.1.2.4.1 Materiales y reactivos:

- Erlenmeyer
- Bureta
- Pipeta
- Vaso de precipitación.

- Solución amortiguadora.
- Negro de ericromo T.
- Solución de EDTA.

2.2.1.2.4.2 Procedimiento:

- Tomar 25 ml de muestra en el erlenmeyer.
- Agregar 2 ml de solución amortiguadora.
- Agregar 1 ml de solución cianuro de potasio.
- Poner el indicador de negro de ericromo T.
- Agregar lentamente el EDTA hasta que se dé el viraje de color rojizo a azul.

Calculo:

$$\text{CaCO}_3 = \frac{V_1 * M * 105}{V_2} \quad \text{Ec: 2.2.1.2.4 - 1}$$

Dónde:

CaCO_3 = concentración de carbonato de calcio en ppm (mg/L)

V_1 = volumen consumido de EDTA (ml)

M = molaridad exacta del EDTA

V_2 = volumen de la muestra (ml)

2.2.1.2.5 Calcio

Las sales de calcio y magnesio son la causa más frecuente de la dureza y afectan vitalmente las propiedades incrustantes o corrosivas del agua.

Con frecuencia, las preferencias personales defienden si se usa el método gravimétrico clásico o el método tímétrico del permanganato para la determinación exacta del calcio. El mayor tiempo que toma las manipulaciones gravimétricas puede restringir este método a muestras ocasionales y, por otro lado el método del permanganato se prefiere, con frecuencia, para la determinación de un gran número de muestras simultáneas. La rapidez y simplicidad del método titulométrico del EDTA lo hacen adecuado para aplicaciones rutinarias y de control.

Los iones de calcio y magnesio forman complejos estables con etilendiaminotetra-acetato disódico. Si el pH es suficientemente alto (12 o 13) como para que el magnesio precipite como hidróxido, el calcio puede ser determinado directamente. El punto final de la titulación es detectando por el indicador Murexita, el que vira de rosado a púrpura en el punto final.

2.2.1.2.5.1 Materiales:

- Matraz erlenmeyer
- Buretas
- Pipetas aforadas
- Pipetas graduadas
- Matraz aforado

2.2.1.2.5.2 Procedimiento:

Titulación de la solución de EDTA.

- Tomar 10 ml de solución estándar de calcio y diluir a 50 ml en un matraz erlenmeyer.
- Agregar 1 ml de solución buffer. El pH deberá estar entre 10.
- Agregar el indicador negro de ericromo-T, titular con solución de EDTA lentamente y agitando continuamente hasta viraje de color de la solución de rosado a azul.

Titulación de la muestra.

- Tomar en un erlenmeyer de 250 ml un volumen de muestra que requiera un gasto de EDTA menor a 15 ml.
- Diluir la muestra a 50 ml con agua destilada.
- Agregar 1 o 2 ml de solución NaOH 10N. el pH deberá estar entre 12 y 13.
- Agregar el reactivo indicador de murexita.
- Titular con solución de EDTA inmediatamente después de agregar el reactivo indicador.
- Agregar el EDTA lentamente y agitando continuamente hasta viraje de color de la solución de rosado a purpura.
- Luego del punto final agregar 1 o 2 gotas más de solución de EDTA para verificar que el color no cambia.

Calculo:

$$T = \frac{P * V_1}{G_1}$$

Ec: 2.2.1.2.5 – 1

Dónde:

T: mg de CaCO_3 equivalentes a 1000 ml de EDTA

P: mg de CaCO_3 /L de la solución estándar de calcio

V_1 : Volumen de solución estándar de calcio tomado en la titulación de la solución de EDTA (10 ml)

G_1 : Gasto de la solución de EDTA consumidos en su titulación

$$\text{Dureza de calcio, mg CaCO}_3/\text{L} = \frac{T * G_2}{V_2} \quad \text{Ec: 2.2.1.2.5} - 2$$

$$\text{Calcio, mg/L} = \frac{T * G}{V_2 * 2.5} \quad \text{Ec: 2.2.1.2.5} - 3$$

Dónde:

V_2 : Volumen de muestra tomados para la determinación, ml

G_2 : Gasto de solución de EDTA consumidos en la titulación de la muestra, ml

2.2.1.2.6 Alcalinidad.

La alcalinidad de un agua es su capacidad para neutralizar un ácido. La alcalinidad de un agua natural o tratada se debe principalmente a los aniones bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos.

Alcalinidad a la fenolftaleína es la correspondiente a los iones hidróxidos más la mitad de la concentración de los iones carbonatos.

Alcalinidad total es la atribuible a los iones hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos.

La alcalinidad se determina por titulación con una solución estándar de un ácido mineral fuerte a los puntos sucesivos de equivalencia del bicarbonato y el ácido carbónico.

El indicador de fenolftaleína permite cuantificar la alcalinidad a la fenolftaleína. Para determinar la alcalinidad total se emplea el indicador anaranjado de metilo.

2.2.1.2.6.1 Materiales:

- Buretas

- Agitador magnético
- Pipetas aforadas
- Matraz erlenmeyer

2.2.1.2.6.2 Procedimiento:

Se recomienda que se usen volúmenes de muestra que necesiten menos de 50 ml de la solución tituladora, pues se obtiene un punto final más preciso. Para muestras de alcalinidad menor a 20 mg/L titular con el ácido sulfúrico estándar de 0.02N

Alcalinidad total.

- Se agrega 0.1 ml de indicador anaranjado de metilo a una muestra adecuada (50,100 ml) contenida en un matraz erlenmeyer de 250 ml. Titular con solución de ácido sulfúrico valorado 0.1N hasta el viraje a color naranja salmón.

Alcalinidad a la fenolftaleína.

- Se agrega dos gotas del indicador de fenolftaleína a una muestra de volumen adecuado (50,100 ml) contenida en un matraz erlenmeyer de 250 ml. Titular con solución de ácido sulfúrico valorado 0.1N hasta viraje de color.

Calculo:

La normalidad del ácido sulfúrico estándar es:

$$N = \frac{A * B}{53 * C}$$

Ec: 2.2.1.2.6 – 1

Dónde:

N:Normalidad del ácido sulfúrico en eq/L

A: g $\text{Na}_2\text{CO}_3/\text{L}$ de la solución de carbonato de sodio 0.05N

B: ml de solución de carbonato de sodio tomamos para la valoración del ácido.

C: ml de ácido utilizados en su valoración.

$$\text{Alcalinidad, mg CaCO}_3/\text{L} = \frac{G * N * 50000}{T} \quad \text{Ec: 2.2.1.2.6} - 2$$

Dónde:

G: ml de ácido sulfúrico utilizados en la titulación.

N: Normalidad del ácido sulfúrico utilizado para la determinación.

T: ml de muestra

2.2.1.2.7 Fosfatos.

Los niveles de fósforo no son muy altos en las aguas superficiales, y su control no es tan estricto sobre todo en efluentes usados para riego de cultivo, dichos niveles, pueden aumentar debido a presencia de fertilizantes en el terreno.

2.2.1.2.7.1 Materiales y reactivos:

- 2100P Turbidímetro HACH Chemical Company.
- Celda.
- Pizeta.
- Pipeta.
- Agua destilada.
- Agua problema.
- Reactivo R-P (pirosulfato de potasio).

2.2.1.2.7.2 Procedimiento:

- Colocar 10 ml de muestra con reactivo R-P en la celda del HACH.
- Colocar la celda en el equipo.
- Anote el valor de la lectura.

2.2.1.2.8 Sólidos totales Disueltos.

Los sólidos totales es la cantidad de materia disuelta en un volumen de agua. Se puede calcular tomando la suma de las concentraciones de todos los cationes y aniones indicados en la parte del análisis del agua o puede también ser medida evaporando una muestra de agua para secarla y posteriormente pasar sus residuos.

2.2.1.2.8.1 Materiales y reactivos.

- Vaso de precipitación.
- Electrodo sensible de HACH.
- Agua problema.
- Agua destilada.

2.2.1.2.8.2 Procedimiento.

Empleando un electrodo.

- Colocar 200 ml de agua problema en el vaso.
- Colocar el electrodo para Sólidos Totales Disueltos.
- Realizar la lectura del agua y anotar el valor.

Evaporando la muestra.

- Pesar una caja Petri.
- Colocar 25 ml de muestra en la caja Petri.

- Someter a baño maría hasta sequedad.
- Introducir a la estufa.
- Colocar en el desecador.
- Pesar.

2.2.1.2.9 Oxígeno disuelto

Mediante el oxígeno disuelto se determina la calidad de agua, por su carácter oxidante juega un papel importante en la solubilización o precipitación de iones. Provoca la corrosión de los metales, en líneas de conducción y equipos, pero su ausencia puede representar la presencia de otros gases.

2.2.1.2.9.1 Materiales y reactivos.

- Medidor de oxígeno
- Agua problema
- Agua destilada

2.2.1.2.9.2 Procedimiento

- Calibrar el equipo (oxígenómetro).
- Colocar en un vaso de vidrio limpio un volumen de muestra suficiente como para cubrir al sensor, esperar 10 min.
- Anotar el valor de la lectura.

2.2.1.2.10 Hierro

Es un constituyente inorgánico que está presente en las aguas de formación por lo tanto en los lodos provenientes de estas. El óxido de tubos de hierro o acero, también puede aumentar la concentración de materiales disueltos, así como la cantidad total de hierro.

2.2.1.2.10.1 Materiales y reactivos

- Comprobador de color.
- Ferrover.
- Agua destilada

2.2.1.2.10.2 Procedimiento

- Colocar la muestra en la celda y añadir Ferrover, agitar.
- Colocar la celda y el disco de color de comprobador.
- Realizar la lectura directamente

2.2.1.2.11 Índice de estabilidad.

Conociendo la dureza, temperatura, pH y la alcalinidad del agua, se puede cuantificar la tendencia del agua a ser incrustante o corrosiva.

El índice de Langelier se fundamenta en el grado de saturación del carbonato de calcio que posee el agua.

Sí en el agua el carbonato cálcico se encuentra saturado, ella no posee la tendencia ni corrosiva ni incrustante y su valor de pH en dicho estado corresponde al pH de saturación (pH_s).

Si el $\text{pH} > \text{pH}_s$, el agua es incrustante; si el $\text{pH} < \text{pH}_s$, el agua es corrosiva.

El índice de Langelier se lo calcula de la siguiente manera:

$$\text{Índice de Langelier} = \text{pH} - \text{pH}_s \quad \text{Ec: 2.2.1.2.11} - 1$$

$$\text{pH}_s = 1 \text{ alc.} + 1 \text{ dur. cal} + 1 \text{ sol. dis} \quad \text{Ec: 2.2.1.2.11} - 2$$

Donde:

1 alc: índice correspondiente a la alcalinidad del agua.

1 sol. dis: índice correspondiente a los sólidos disueltos.

1dur. cal: índice correspondiente a la dureza cálcica.

El índice de Langelier es parámetro solamente cualitativo, ya que no magnifica en qué grado el agua es corrosiva o incrustante. Estas propiedades pueden ser cuantificadas con el índice de Ryznar.

$$\text{Índice de Ryznar} = 2\text{pH}_s - \text{pH}$$

$$\text{Ec: 2.2.1.2.11} - 3$$

2.3 DATOS EXPERIMENTALES

2.3.1 DIAGNÓSTICO

La planta de Lácteos de la Estación Experimental de “TUNSHI”, Ubicada en el sector de Licto, se abastece actualmente del agua proveniente de vertientes naturales, es decir de agua entubada, durante el transcurso de esta, no recibe ningún tipo de tratamiento físico o químico, llegan directamente a las cisternas de la planta donde es distribuida para los diferentes procesos de la planta.

La determinación del estado actual de la planta implicaron análisis físicos y químicos del agua de alimentación a la caldera, el cual consta el agua antes del ablandador y el agua después del ablandador para de esta manera tener los suficientes datos para establecer la eficiencia del sistema del tratamiento.

2.3.2 DATOS

2.3.2.1 Caracterización del agua

Las muestras de agua fueron tomadas en la fuente misma de extracción como son: agua de la cisterna (antes del ablandador) agua del tanque de almacenamiento (después del ablandador). Los análisis como temperatura, pH y conductividad se realizaron In Situ y los demás parámetros en el Laboratorio de AnálisisTécnicos de la Facultad de Ciencias en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Por el lapso de tres meses se recolectaron muestras de agua realizando los respectivos análisis físicos y químicos en el Laboratorio de Análisis Técnicos-Facultad Ciencias-ESPOCH

2.3.2.2 Tablas de caracterización del agua, análisis físico-químicos.

**Tabla 2.3-1 DATOS PROMEDIO DE CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL AGUA
ANTES DEL ABLANDADOR.**

PARÁMETROS	UNIDAD	M1	M2	M3	PROMEDIO	NORMA
pH	unid	8.2	8.44	8.5	8.4	10-12
Conductividad	μSiems/cm	1080	1092	1095	1089	Max: 3500
Dureza	mg/L	290	288	281	286.3	Max: 0.3
Alcalinidad	mg/L	440.9	450.0	449.2	446.7	Max: 350
Oxígeno disuelto	mg/L	0.03	0.03	0.03	0.03	Max: 0.04
Hierro	mg/L	0.02	0.02	0.03	0.023	Max: 0.1
Sólidos Disueltos	mg/L	675.0	677.0	677.5	676.5	Max: 3500

Fuente: Datos obtenidos en el Laboratorio de Análisis Técnicos-Facultad de Ciencias.

**Tabla 2.3-2 DATOS PROMEDIO DE CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL AGUA
DESPUÉS DEL ABLANDADOR.**

PARÁMETROS	UNIDAD	M1	M2	M3	PROMEDIO	NORMA
pH	unid	8.3	8.39	8.4	8.36	10-12
Conductividad	μSiems/cm	1055	1060	1060	1058.3	Max: 3500
Dureza	mg/L	220.5	224.0	225.0	223.2	Max: 0.3
Alcalinidad	mg/L	435.6	440.0	439.9	438.5	Max: 350
Oxígeno disuelto	mg/L	0.03	0.03	0.03	0.03	Max: 0.04
Hierro	mg/L	0.00	0.00	0.00	0.00	Max: 0.1
Sólidos Disueltos	mg/L	657.0	657.2	657.5	657.2	Max: 3500

Fuente: Datos obtenidos en el Laboratorio de Análisis Técnicos-Facultad de Ciencias.

CAPÍTULO III

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

3 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

3.1 CÁLCULOS

3.1.1 DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

El diseño de un Sistema para el Tratamiento del Agua de Alimentación de la Planta de Lácteos de la Estación Experimental “Tunshi”, ubicada en la parroquia de Licto, de acuerdo al diagnóstico del estado actual del sistema de alimentación a través de los análisis físicos y químicos del agua de la cisterna (antes del ablandador) y del agua de almacenamiento (después del ablandador), de igual manera la revisión del estado de la infraestructura del sistema de tratamiento, para optimizar el sistema actual implicara el desarrollo de un proceso de mejora encaminadas a lograr el funcionamiento óptimo del sistema de tratamiento.

DESCRIPCIÓN TÉCNICA

Como se describió anteriormente, el Sistema de Tratamiento del Agua de Alimentación a la Caldera de la Planta de Lácteos “Tunshi”, debido a la falta de un adecuado mantenimiento y un control de la misma, ha provocado que el sistema de alimentación se encuentre gravemente deteriorado, teniendo como alimentación una agua con características fuera de norma (Tabla 2.3-1), afectando directamente a la caldera de la planta y por ende la disminución de la eficiencia de la caldera y el aumento de costos en el consumo de combustible y mantenimiento.

Eliminación actual de los parámetros para el Agua de Alimentación de la Caldera.

Según los parámetros establecidos por la ASME (comité de investigación, Tabla 1.2-1), donde se describen los límites permisibles para el uso del agua a nivel industrial (agua de calderas), determina que el valor de la dureza debe ser como máximo 0.3 ppm.

El orden para seleccionar el método adecuado de tratamiento comienza con determinar como primer paso la cantidad de dureza. Muchos de los análisis del agua expresan la dureza en “partes por millón” (ppm). Las partes por millón deben de convertirse a “granos por galón” (gpg), para poder calcular el tamaño del suavizador.

Para convertir la dureza expresada en ppm a gpg hay que dividir los ppm entre 17.1 (1grano =0.065gr).⁴

Ejemplo: si nos reportan una dureza total de 342 ppm se convierte de dividiéndola entre 17.1 por lo tanto equivale a $342 / 17.1 = 20$ gpg (granos por galón). Esta medida significa cuantos granos de resina se necesitan para suavizar un galón de agua.

3.1.1.1 Determinar el volumen de agua de alimentación

Para determinar la cantidad de agua empleada para alimentar una caldera, se necesita hacer algunos cálculos; para convertir la capacidad promedio de la caldera a abastecimiento máximo de agua en galones. La capacidad promedio de una caldera es expresada de muchas maneras, como sea todas se pueden convertir a el factor común que es “Caballos Vapor Caldera (BHP)”.

Por cada caballo vapor caldera, la caldera requiere alimentarse con 4.25 galones por hora.⁵

⁴ BROWN Y EUGENE, Glenn. “Química cuantitativa”. 1977.

⁵ http://www.cnpml.org.sv/ucatee/ee/docs/informacion_calderas_ciclos_de_concentracion.pdf

3.1.1.2 Determinar la dureza del agua en granos por galón (gpg).

El análisis recibido o muestreado es en partes por millón (ppm), convertirlo a granos por galón (gpg), dividiéndolo entre 17.1:

$$\text{Dureza inicial del agua} = 286.3 \text{ ppm}$$

$$\text{Dureza del agua} = 286.3/17.1 = 16.74 \text{ gpg}$$

3.1.1.3 Determinar la alimentación de agua máxima a la caldera.

La capacidad de la caldera es de 15 BHP (caballos vapor caldera), convertir los BHP a galones de agua por hora necesarios para alimentar la caldera.

$$\text{Agua de alimentacion} = \text{BHP} * 4.25 \text{ Galones por hora.}$$

$$\text{Agua de alimentacion} = 15 * 4.25 \text{ Galones por hora.}$$

$$\text{Agua de alimentacion} = 63.75 \frac{\text{gal}}{\text{h}} * 5 \text{ h}$$

$$\text{Agua de alimentacion} = 318.75 \text{ gal H}_2\text{O por dia.} * \frac{3.785 \text{ L}}{1 \text{ gal}}$$

$$\text{Agua de alimentacion} = 1206.6 \text{ litros de H}_2\text{O por dia.}$$

3.1.1.4 Determinar los granos totales de dureza a remover por día.

$$\text{Agua de alimentacion} = 318.75 \text{ gal H}_2\text{O por dia}$$

$$\text{Dureza del agua} = 16.74 \text{ gpg}$$

$$\text{Granos totales de dureza} = 318.75 * 16.74$$

$$\text{Granos totales de dureza} = 5335.88 \text{ (91243.5 ppm)}$$

Debido a la natural importancia de obtener agua suavizada como alimentación a la caldera, debemos de considerar un margen de error en la selección del suavizador. Este margen es común el 15%, multiplicando los 5 335.88 granos por 1.15 la demanda total a remover será de 6 136.3 granos por día.⁶

3.1.1.5 Capacidad promedio del ablandador.⁷

Operación en los tres niveles de capacidad, los tres niveles convencionales para los suavizadores son:

- a) 30 000 granos por pie³ de resina (regenerando con 15 libras de sal por pie³ de resina)
- b) 25 000 granos por pie³ de resina (regenerando con 10 libras de sal por pie³ de resina)
- c) 20 000 granos por pie³ de resina (regenerando con 5 libras de sal por pie³ de resina)

Si nosotros aplicamos mediante una sencilla regla de tres, lo anterior a nuestro ejemplo, podremos observar los beneficios en forma muy tangible, a continuación le ofrecemos los resultados de nuestro ejemplo, en donde necesitamos remover 6 136.26 granos por día por lo tanto:

$$6136.26 \text{ gpg} / 30000 \text{ granos pie}^3 = 0.2 \text{ pies}^3 * 15 \text{ libras de sal} = 3 \text{ libras de sal al día}$$

$$\begin{aligned} 6136.26 \text{ gpg} / 25000 \text{ granos pie}^3 &= 0.25 \text{ pies}^3 * 10 \text{ libras de sal} \\ &= 2.5 \text{ libras de sal al día} \end{aligned}$$

$$6136.26 \text{ gpg} / 20000 \text{ granos pie}^3 = 0.31 \text{ pies}^3 * 5 \text{ libras de sal} = 1.5 \text{ libras de sal al día}$$

⁶PETERS, Charles. "Water treatment for industrial boiler systems". 1980.

⁷PETERS, Charles. "Water treatment for industrial boiler systems". 1980.

Es importante mencionar que el empleo de la máxima, media o baja capacidad solamente afecta en el consumo de sal, pero cualquiera de las tres que se seleccione el suavizador elimina totalmente la dureza, esto se hace por el ahorro en la operación y no por la calidad del agua, siempre será suavizada.

3.1.1.6 Cálculo de la eficiencia del ablandador

Dureza inicial del agua = 286.3 ppm

Dureza del agua después del ablandador = 223.2 ppm

Cantidad de dureza eliminada = 63.1

$$\% \text{ EFICIENCIA} = \frac{63.1}{286.3} * 100 = 22.03 \%$$

3.1.1.7 Mantenimiento del ablandador.

El objetivo del mantenimiento del ablandador consiste en la identificación del proceso básico de operación, del mantenimiento adecuado del equipo y de la determinación de los requisitos de seguridad e higiene que debe tener el equipo, contribuyendo así a mejorar la calidad de agua de alimentación a la caldera.

El mantenimiento del ablandador iniciará con la inspección y luego con la limpieza de la unidad, el cual consiste en la regeneración de la resina, cuando la resina agotado su capacidad de intercambio, las terminales activas de esta se encuentran saturadas de iones de calcio y magnesio principalmente, y ya no es posible remover la dureza del agua que se pone a su contacto.

3.1.1.7.1 Regeneración de la Resina.

Después de que la resina se encuentre saturada (con el calcio y el magnesio que ha removido del agua ya tratada), es necesario regenerarla. Para este fin se efectúan las siguientes operaciones:

a) Retro lavado.

En el retro lavado se hace circular el agua de alimentación al filtro, de abajo hacia arriba, al contrario de como circula normalmente cuando el filtro está en operación. Esta agua de retro lavado sale por la parte superior del filtro y es desechada. El retro lavado tiene la finalidad de redistribuir el lecho o cama de resina y evitar que esta se compacte, formando canalizaciones en el agua que fluye, y disminuyendo con esto la eficiencia y capacidad del filtro.

b) Salado.

Después del retro lavado se hace circular una solución de sal a través del lecho de resina, para esto se prepara una solución de sal en agua y se hace circular en el filtro, fluyendo esta solución de arriba hacia abajo. La cantidad de sal empleada es de aproximadamente 5 Kg de sal en grano por cada pie cubico de resina en el filtro (aprox. 180 g de NaCl por litro de resina). Esta sal se disuelve en la cantidad de agua que sea suficiente para su disolución completa y se vierte en el filtro, o se agrega directamente a este y se disuelve la sal agregando agua al recipiente.

La solución de sal o la sal entera, se puede hacer pasar por el filtro abriendo este por la parte superior vertiendo la sal o la solución salina, o también a través de una válvula de paso. En caso de que el volumen de salmuera sea considerable, es conveniente inyectar esta salmuera por medio de una bomba.

En cualquier caso la solución tiene contacto con la resina y esta es regenerada, esto es, regresa a su condición original y es capaz nuevamente de remover la dureza de un cierto volumen de agua que pase por el filtro.

Durante el lavado el agua que fluye y sale por la parte inferior del filtro es desechada hacia el drenaje.

c) Lavado.

El lavado tiene como finalidad eliminar toda la solución de lavado, que tiene una alta concentración de dureza (calcio y magnesio), para esto se hace fluir agua de alimentación (el agua que entra al filtro para el tratamiento) de arriba hacia abajo, es decir, en la forma normal de operación del filtro, y el agua de lavado es desechada hacia el drenaje. Para saber el momento de finalización de la operación del filtro, cuando esta ya no sabe a lavado es el momento en el cual la operación ha llegado a concluir y la resina y el filtro están listos para su operación normal.

3.1.1.8 Calculo de la eficiencia del ablandador después del mantenimiento del ablandador.

Dureza inicial del agua = 286.3 ppm

Dureza del agua despues del mantenimiento = 98.2 ppm

Cantidad de dureza eliminada = 188.1

$$\% \text{ EFICIENCIA} = \frac{188.1}{286.3} * 100 = 65.7 \%$$

Cabe recalcar que el límite permitido por la ASME (Tabla 1.2-1) para la dureza es de 0.3 ppm. Se tiene una eficiencia mayor al 50% pero no es suficiente como Agua de Alimentación para la Caldera.

En función de la bibliografía consultada para un eficiente manejo de la caldera se requiere un tratamiento de ablandamiento. El tratamiento que se le está dando al agua de la planta de Tunshi se realiza con la aplicación de una resina de intercambio pero según los resultados obtenidos la resina no está funcionando correctamente.

Debido a esto se buscó alternativas para el tratamiento estableciéndose como la alternativa más viable el uso del producto **ADL (TQ-SOFT-ADL)** (Compuesto líquido para tratamiento de aguas de calderos alimentados con aguas duras.)

3.1.1.9 Calculo de la cantidad mínima a utilizarse del compuesto ADL (TQ-SOFT-ADL). Sin la implementación del ablandador.

Se realizaron pruebas con este reactivo para disminuir el valor de la dureza. El valor inicial es de dureza es de 286.3 mg/L según los análisis realizados anteriormente.

Antes de encontrar al valor exacto de la dilución se realizaron pruebas con el reactivo ADL (TQ-SOFT-ADL), partiendo de:

Tabla 3.1-1PREPARACIÓN DE DILUCIONES PRIMARIAS

MUESTRA DE AGUA (ml)	CANTIDAD DE ADL (ml)	DUREZA
100	50	0
100	40	0
100	30	0
<u>100</u>	<u>20</u>	<u>0</u>
100	10	Presencia de dureza

FUENTE: Tesista

3.1.1.9.1 Cálculo de la concentración de la dilución primaria.

$$\text{Concentración} = \frac{\text{Cantidad de soluto}}{\text{Cantidad de disolvente}}$$

$$\text{Concentración} = \frac{20 \text{ ml ADL}}{100 \text{ ml Agua}}$$

$$\text{Concentración} = 0.2 \frac{\text{ml ADL}}{\text{ml Agua}}$$

Se realizaron los respectivos análisis con el fin de determinar el valor mínimo de ADL (TQ-SOFT-ADL) que se empleara para tener el valor de dureza bajo los límites permisibles establecidos por la ASME (Tabla 1.2-1) y de igual manera tener el menor gasto económico.

Con los valores encontrados anteriormente se empezó a realizar pruebas con la relación de interés.

Tabla 3.1-2MEZCLA APROPIADA DE LA DILUCIÓN

MUESTRA DE AGUA (ml)	CANTIDAD DE ADL (ml)
100	20

FUENTE: Tesista

De esta mezcla se tomaron las siguientes cantidades.

Tabla 3.1-3OBTENCIÓN DE LA DILUCIÓN ÓPTIMA DE ADL

ALÍCUOTAS DE LA DILUCIÓN APROPIADA (ml)	CANTIDAD DE AGUA (ml)
6	100
8	100
10	100
12	100

FUENTE: Tesista

Tabla 3.1-4 VALORES DE LA DUREZA CON LA DILUCIÓN ÓPTIMA.

ALÍCUOTAS DE LA DILUCIÓN APROPIADA. (ml)	CANTIDAD DE EDTA GASTADA (ml)	DUREZA (mg/l)
6	4,8	284
8	1,6	128
<u>10</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
12	0	0

FUENTE: Tesista

Con estos análisis se ha conseguido eliminar la dureza en el agua, estas pruebas fueron repetidas 3 veces obteniéndose los mismos resultados de dureza.

3.1.1.9.2 Cálculo de la concentración de la dilución óptima.

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

$$C_2 = \frac{0.2 * 10}{100}$$

$$C_2 = 0.02 \frac{\text{ml ADL}}{\text{ml Agua}}$$

3.1.1.10 Calculo de la eficiencia del tratamiento con la utilización de compuesto ADL (TQ-SOFT-ADL)

Dureza inicial del agua = 286.3 ppm

Dureza del agua despues del tratamiento con el compuesto ADL = 0 ppm

Cantidad de dureza eliminada = 286.3 ppm

$$\% \text{ EFICIENCIA} = \frac{286.3}{286.3} * 100 = 100 \%$$

3.1.1.11 Calculo de la cantidad del compuesto ADL (TQ-SOFT-ADL) a emplearse en el tratamiento de agua de alimentación, en la caldera de Lácteos “Tunshi”

Cantidad de agua de alimentacion = 1206.6 litros por turno.

Concentración de la dilución óptima = 0.02 litros ADL/litro agua

$$\text{Dosificación ideal} = 1206.6 \text{ litros de agua} * \frac{0.02 \text{ litros ADL}}{\text{litros agua}}$$

Dosificación ideal = 24.1 litros de ADL.

3.1.1.12 Cálculo de la cantidad mínima a utilizarse del compuesto ADL (TQ-SOFT-ADL). Con la implementación del ablandador.

Se realizaron pruebas con este reactivo para disminuir el valor de la dureza. El valor inicial es de dureza es de 98.2 mg/L según los análisis realizados anteriormente.

Antes de encontrar al valor exacto de la dilución se realizaron pruebas con el reactivo ADL (TQ-SOFT-ADL) partiendo de:

Tabla 3.1-5PREPARACIÓN DE DILUCIONES PRIMARIAS.

MUESTRA DE AGUA (ml)	CANTIDAD DE ADL (ml)	DUREZA
100	25	0
100	20	0
100	15	0
<u>100</u>	<u>5</u>	<u>0</u>
100	2	Presencia de dureza

FUENTE: Tesista

3.1.1.13 Calculo de la concentración de la dilución primaria.

$$\text{Concentración} = \frac{\text{Cantidad de soluto}}{\text{Cantidad de disolvente}}$$

$$\text{Concentración} = \frac{5 \text{ ml ADL}}{100 \text{ ml Agua}}$$

$$\text{Concentración} = 0.05 \frac{\text{ml ADL}}{\text{ml Agua}}$$

Se realizaron los respectivos análisis con el fin de determinar el valor mínimo de ADL (TQ-SOFT-ADL) que se empleara para tener el valor de dureza bajo los límites permisibles establecidos por la ASME(Tabla 1.2-1) y de igual manera tener el menor gasto económico.

Con los valores encontrados anteriormente se empezó a realizar pruebas con la relación de interés.

Tabla 3.1-6MEZCLA APROPIADA DE LA DILUCIÓN.

MUESTRA DE AGUA (ml)	CANTIDAD DE ADL (ml)
100	5

FUENTE: Tesista

De esta mezcla se tomaron las siguientes cantidades.

Tabla 3.1-7 OBTENCIÓN DE LA DILUCIÓN ÓPTIMA DEL ADL.

ALÍCUOTAS DE LA DILUCIÓN APROPIADA (ml)	CANTIDAD DE AGUA (ml)
6	100
8	100
10	100
12	100

FUENTE: Tesista

Tabla 3.1-8 VALORES OBTENIDOS DE DUREZA CON LA DILUCIÓN ÓPTIMA..

ALÍCUOTAS DE LA DILUCIÓN APROPIADA (ml)	CANTIDAD DE EDTA GASTADA (ml)	DUREZA (mg/L)
6	4,8	75
8	1,6	25
<u>10</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
12	0	0

FUENTE: Tesista

Con estos análisis se ha conseguido eliminar la dureza en el agua, estas pruebas fueron repetidas 3 veces obteniéndose los mismos resultados de dureza.

3.1.1.13.1 Calculo de la concentración de la dilución óptima.

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

$$C_2 = \frac{0.05 * 10}{100}$$

$$C_2 = 0.005 \frac{\text{ml ADL}}{\text{ml Agua}}$$

3.1.1.14 Calculo de la cantidad del compuesto ADL (TQ-SOFT-ADL) a emplearse en el tratamiento de agua de alimentación, en la caldera de Lácteos “Tunshi”

Cantidad de agua de alimentacion = 1206.6 litros por turno.

Concentración de la dilución óptima = 0.005 litros ADL/litro agua

$$\text{Dosificación ideal} = 1206.6 \text{ litros de agua} * \frac{0.005 \text{ litros ADL}}{\text{litros agua}}$$

Dosificación ideal = 6.03 litros de ADL.

3.2 RESULTADOS.

3.2.1 Resultados de los análisis en el Tratamiento del Agua de Alimentación empleando el Ablandador.

Tabla 3.2-1ANÁLISIS DE AGUA TRATADA CON RESINA DE INTERCAMBIO IÓNICO.

PRUEBA	UNIDAD	AGUA CRUDA	AGUA TRATADA	NORMA
--------	--------	------------	--------------	-------

Dureza total	Ppm	286.3	223.2	Max: 0.3
Alcalinidad	Ppm	446.7	438.5	Max: 350
Conductividad	μSiems/cm	1089	1058.3	Max: 3500
Solidos Disueltos	Ppm	676.5	657.2	Max: 3500
pH	Unid	8.4	8.36	10-12
Oxígeno disuelto	Ppm	0.03	0.03	Max: 0.04
Hierro	Ppm	0.023	0.020	Max: 0.1
Índice de Langelier		1.6 (agua incrustante)	1.6 (agua incrustante)	Max: 0.5

Fuente: Datos obtenidos en el Laboratorio de Análisis Técnicos-Facultad de Ciencias.

3.2.2 Resultados de los análisis en el Tratamiento del Agua de Alimentación después del mantenimiento emergente del Ablandador.

Tabla 3.2-2ANÁLISIS DE AGUA TRATADA CON RESINA DE INTERCAMBIO IÓNICO.

PRUEBA	UNIDAD	AGUA CRUDA	AGUA TRATADA	NORMA
Dureza total	Ppm	286.3	98.2	Max: 0.3
Alcalinidad	Ppm	446.7	237.22	Max: 350
Conductividad	μSiems/cm	1089	425.3	Max: 3500
Solidos Disueltos	Ppm	676.5	335.04	Max: 3500
pH	Unid	8.4	8.1	10-12
Oxígeno disuelto	Ppm	0.03	0.03	Max: 0.04
Hierro	Ppm	0.023	0.01	Max: 0.1
Índice de Langelier		1.6 (agua incrustante)	0.7(agua incrustante)	Max: 0.5

Fuente: Datos obtenidos en el Laboratorio de Análisis Técnicos-Facultad de Ciencias.

3.2.3 Resultados de los análisis en el Tratamiento del Agua de Alimentación empleando el compuesto ADL (TQ-SOFT-ADL). Sin emplear el ablandador

Tabla 3.2-3ANÁLISIS DE AGUA TRATADA CON COMPUESTOS QUÍMICOS

PRUEBA	UNIDAD	AGUA CRUDA	AGUA TRATADA	NORMA
Dureza total	Ppm	286.3	0.00	Max: 0.3
Alcalinidad	Ppm	446.7	1 000	Max: 350
Conductividad	μSiems/cm	1089	5 322	Max: 3500
Solidos Disueltos	Ppm	676.5	6 026	Max: 3500
pH	Unid	8.4	11.5	10-12
Oxígeno disuelto	Ppm	0.03	0.0	Max: 0.04
Hierro	Ppm	0.023	0.023	Max: 0.1
Índice de Langelier		1.6 (agua incrustante)	1.0 (agua incrustante)	Max: 0.5

Fuente: Datos obtenidos en el Laboratorio de Análisis Técnicos-Facultad de Ciencias.

3.2.4 Resultados de los análisis en el Tratamiento del Agua de Alimentación empleando el compuesto ADL (TQ-SOFT-ADL). Empleando el ablandador

Tabla 3.2-4ANÁLISIS DE AGUA TRATADA CON COMPUESTOS QUÍMICOS

PRUEBA	UNIDAD	AGUA TRATADA DEL ABLANDADOR	AGUA TRATADA CON QUÍMICOS	NORMA
Dureza total	Ppm	98.2	0.00	Max: 0.3
Alcalinidad	Ppm	237.22	345.6	Max: 350
Conductividad	μSiems/cm	425.3	1 526	Max: 3500
Solidos Disueltos	Ppm	335.04	1 923.2	Max: 3500
pH	Unid	8.1	11	10-12
Oxígeno disuelto	Ppm	0.03	0.0	Max: 0.04
Hierro	Ppm	0.01	0.01	Max: 0.1
Índice de Langelier		0.7(agua incrustante)	0.4 (agua equilibrada)	Max: 0.5

Fuente: Datos obtenidos en el Laboratorio de Análisis Técnicos-Facultad de Ciencias.

3.3 PROPUESTA

El estudio de la problemática del Agua de Alimentación de la Caldera en la Planta de Lácteos de la Estación Experimental “TUNSHI”, ha permitido establecer en base a los datos y a los análisis obtenidos el diagnóstico y el estado actual del sistema de alimentación, el procedimiento más adecuado para mejorar y optimizar la calidad de agua de alimentación sería: la ejecución de un mantenimiento o activación de la resina del ablandador, seguido de un programa de tratamiento de agua en base a la utilización de un compuesto químico denominado ADL (TQ-SOFT-ADL).

ADL (TQ-SOFT-ADL) es un producto para el tratamiento completo en la prevención de incrustaciones y corrosión en calderas de vapor alimentados con aguas duras y trabajando bajo presión de hasta 300 psi. En su composición intervienen precipitantes de dureza, atrapadores de oxígeno, acondicionadores de lodos, inhibidores de corrosión y alcalinizantes reguladores de pH. Se trata, por tanto, de compuestos integrales que contienen todos los componentes requeridos para un tratamiento completo del agua de Caldera.

El ADL (TQ-SOFT-ADL) no contiene ningún tipo de sustancias volátiles que puedan contaminar el vapor, en cambio contribuyen al desprendimiento de incrustaciones antigua.

Con la implementación de este nuevo sistema de tratamiento de agua para calderas en base al compuesto químico se requiere una nueva unidad para la dosificación del químico, la cual almacenaría el agua tratada del ablandador y seguiría con el tratamiento químico, en base a los cálculos realizados idealmente la caldera requiere de 1200 litros de agua de alimentación durante un turno de trabajo (generación de vapor continuamente), la dosificación del químico se puede agregar directamente al tanque de alimentación en forma manual, pero con la única condición que la dosis calculada para el día de trabajo se consuma uniformemente

durante la jornada directamente a la línea de alimentación a la caldera si se usa una bomba dosificadora de químico.

Para el tratamiento del agua de alimentación de forma manual se debe disponer de un tanque de alimentación con una capacidad de 1200 litros y se añade la cantidad de compuesto químico determinado en el punto 3.1.1.14. En cambio con la implementación de una bomba dosificadora del químico, se deberá mezclar la cantidad del compuesto químico calculado en el punto 3.1.1.14, con 20 litros de agua y regular la bomba para que el consumo sea uniforme durante el turno de trabajo.

Se espera que el agua de alimentación tratada químicamente ofrezca parámetros establecidos en norma con 0 ppm de dureza.

La implementación de este nuevo proceso de optimización para el Tratamiento de Agua de Calderas, requiere que el personal encargado realice el control de funcionamiento correcto del sistema y por ende de la planta, realizando un mantenimiento preventivo de cada unidad y evitar el colapso del sistema.

3.4 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

Los resultados obtenidos durante los meses de estudio (Enero-Marzo 2013) del Agua de Alimentación a la Caldera de la Planta de Lácteos de la Estación Experimental “TUNSHI”, permitió diagnosticar el estado crítico del sistema de tratamiento de agua de alimentación mediante la utilización de un sistema de ablandamiento de agua, identificando así que el agua de alimentación que durante tanto tiempo se ha utilizado tienen tendencia incrustante, de acuerdo al índice de Langelier.

- a) Durante el primer análisis del agua que sale del ablandador, se determina que sus parámetros analizados no están dentro de los límites establecidos por la ASME(Tabla 1.2-1)

El agua cruda presenta una dureza de 286.3 ppm, el agua tratada tiene una dureza de 223.2 ppm, el ablandador tiene una eficiencia del 22.03%, con estos datos se tiene un índice de Langelier de 1.6 (agua incrustante).

De acuerdo al análisis se tiene como resultado las denominadas “Aguas duras” que son las responsables de la formación de incrustaciones en los tubos de la Caldera, de forma que dificultan la transmisión del calor al agua, esta situación llamada Incrustación de Calderas disminuyen su rendimiento y aumentan el costo de producción.⁸

- b) Se llevó a cabo un segundo análisis, el cual consistió en un tratamiento a la resina contenida en el ablandador, a nivel de laboratorio se realizó una activación o regeneración de la resina empleando Cloruro de Sodio o Sal en grano, se realizaron los respectivos análisis y se determina que los parámetros no están bajo norma

⁸ NEMEROW, Nelson. “Tratamiento de Vertidos Industriales”. 1998, Madrid.

(Tabla 1.2-1), dándonos como resultados que la resina de intercambio iónico no presenta las características para ablandar agua de alimentación a calderas.

El agua cruda tiene una dureza de 286.3 ppm, el agua tratada con resina regenerada presenta una dureza de 98.2 ppm, la eficiencia de ablandamiento de la resina es de 65.7%.

- c) Como tercer análisis tenemos la adición de ingredientes químicos al agua de calderas, como tratamiento interno diario, no consiste solamente en dosificarlos y purgar la unidad, un buen programa de tratamiento abarca más.

El producto químico ADL (TQ-SOFT-ADL), combinado con un programa de dosificación, control y monitoreo, asegura:

- Una adecuada protección al circuito de vapor con un óptimo rendimiento operativo.
- Mantener los parámetros dentro del rango correspondiente, con el objeto de incrementar la vida útil de las unidades.

Con la utilización de compuestos químicos como tratamiento de agua para calderas, tenemos una eficiencia del 100 % en eliminación de dureza (0 ppm), es decir tenemos agua de alimentación completamente blanda.

Tratamiento de agua de alimentación a partir de 286.3 ppm de dureza (Agua cruda).

Tabla 3.4-1 TRATAMIENTO CON ADL (TQ-SOFT-ADL)

PRUEBA	UNIDAD	AGUA CRUDA	AGUA TRATADA	RESULTADO
Dureza total	Ppm	286.3	0.00	CUMPLE
Alcalinidad	Ppm	446.7	1 000	NO CUMPLE
Conductividad	μSiems/cm	1089	5 322	NO CUMPLE
Solidos Disueltos	Ppm	676.5	6 026	NO CUMPLE
pH	Unid	8.4	11.5	CUMPLE
Oxígeno disuelto	Ppm	0.03	0.0	CUMPLE
Hierro	Ppm	0.023	0.023	CUMPLE
Índice de Langelier		1.6 (agua incrustante)	1.0 (agua incrustante)	NO CUMPLE

Fuente: Datos obtenidos en el Laboratorio de Análisis Técnicos-Facultad de Ciencias.

La alcalinidad, conductividad, y solidos disueltos se pueden controlar mediante una purga de la caldera.

Tratamiento de agua de alimentación a partir de 98.2 ppm de dureza (Agua tratada).

Tabla 3.4-2 TRATAMIENTO CON ADL (TQ-SOFT-ADL)

PRUEBA	UNIDAD	AGUA TRATADA DEL ABLANDADOR	AGUA TRATADA	RESULTADO
Dureza total	Ppm	98.2	0.00	CUMPLE
Alcalinidad	Ppm	237.22	345.6	CUMPLE
Conductividad	μSiems/cm	425.3	1 526	CUMPLE
Solidos Disueltos	Ppm	335.04	1 923.2	CUMPLE
pH	unid	8.1	11	CUMPLE
Oxígeno disuelto	ppm	0.03	0.0	CUMPLE
Hierro	ppm	0.01	0.01	CUMPLE
Índice de Langelier		0.7(agua incrustante)	0.4 (agua equilibrada)	CUMPLE

Fuente: Datos obtenidos en el Laboratorio de Análisis Técnicos-Facultad de Ciencias.

Tenemos agua de buena calidad, como agua de alimentación para calderas.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y

RECOMENDACIONES

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

4.1 CONCLUSIONES

Una vez realizado la caracterización y el estudio de la posibilidad del diseño, principales problemas y posibles soluciones a los mismos durante el desarrollo de este tema, se puede concluir lo siguiente:

- En base a los análisis físico-químicos de caracterización del agua de alimentación, los datos de los análisis que se encuentran fuera de especificación según la norma ASME (Contenido de Elementos en el Agua de Alimentación a Calderas), son: la Dureza Total con un valor de 286.3 ppm antes del sistema de ablandamiento y con un valor de 223.2 ppm después del ablandador, la alcalinidad con 446.7 antes del ablandador y de 438.5 después del ablandador, en cambio parámetros como conductividad, sólidos disueltos, pH, oxígeno disuelto y hierro, se encuentran dentro de los límites permisibles.
- Después de realizar el mantenimiento del ablandador, que en este caso se llevó a cabo la activación o regeneración de la resina todos los parámetros se encuentran bajo la norma ASME(Contenido de Elementos en el Agua de Alimentación a Calderas), excepto el valor de la dureza que tiene un valor de 98.2 ppm; siendo esta como responsable de incrustaciones.
- De acuerdo con el valor de dureza obtenido es necesario realizar un ablandamiento al agua de alimentación a la caldera, para esto se utilizó un Compuesto Líquido para el Tratamiento de Aguas de Calderas Alimentados con Aguas Duras **ADL(TQ-SOFT-ADL)**, además en su composición intervienen inhibidores de corrosión,, reguladores

de pH, contribuyen al desprendimiento de incrustaciones viejas y no contiene ningún tipo de sustancias volátiles que puedan contaminar el vapor.

- Por cada 1200 litros de agua de alimentación que requiere la Caldera de la Planta de Lácteos “Tunshi” (por cada jornada de trabajo), se necesita 6.03 litros del producto químico **ADL (TQ-SOFT-ADL)**.
- Se realizó un tratamiento empleando compuestos químicos, los cuales hemos eliminado por completo el parámetro principal causante de incrustaciones, que es la dureza, teniendo un diseño de tratamiento con una eficiencia del 100 %.

4.2 RECOMENDACIONES

- Aplicar el estudio realizado para así mejorar la calidad de agua de alimentación a la caldera de la Planta de Lácteos Tunshi, sobre todo para disminuir las causas ocasionadas por la dureza, con la implementación del nuevo sistema de tratamiento aparte de cumplir con normas, ayuda al desprendimiento de incrustaciones antiguas y por ende reducir costos y aumentar el rendimiento.
- Es recomendable que el personal encargado de la planta tenga conocimientos y los materiales necesarios para realizar el mantenimiento de los equipos empleados en el sistema de tratamiento, así como análisis periódicos sobre el agua de alimentación a la caldera, con la finalidad de regular la dosificación del compuesto químico, para tener el máximo rendimiento y la reducción de costos.
- Para evitar la dosificación manual de compuesto químico y evitar pérdidas o una inadecuada dosificación, se recomienda implementar un equipo, como una bomba dosificadora.
- El agua de alimentación a la caldera de la planta de lácteos Tunshi deberá ingresar con una temperatura mínima de 40 grados Celsius, para evitar choques térmicos y la disminución en la eficiencia en la generación de vapor.
- Se recomienda que para que la caldera opere con mayor eficiencia realizar un mantenimiento completo de las instalaciones, los equipos, las bombas y las tuberías de alimentación y distribución con la finalidad de disminuir problemas de operación y costos.

Mantenimiento del tanque de almacenamiento y tuberías de conducción.

- Una inspección visual al tanque de almacenamiento determinó que está en muy mal estado, está prevista de una tapa pero no está colocada de forma correcta, se

encuentra a medio cerrar, que cualquier persona puede retirarla e ingresar cualquier tipo de contaminación al agua tratada. Se procedió a retirar la tapa y se pudo visualizar que el tanque presenta oxidación, en todo el interior del tanque, del mismo modo presenta suciedad en el fondo del tanque. La línea de retorno del condensado que se conecta con el tanque de almacenamiento se encuentra rota, presentando otra abertura en el tanque, de igual manera alrededor de esta conexión se visualiza oxidación, lo más recomendable y como mantenimiento es un reemplazo del tanque, ya que la remoción de la corrosión del interior del tanque resulta imposible.

- Aunque las tuberías de PVC no necesitan de gran mantenimiento por sus diversas ventajas, deben verificarse si el flujo es normal y eliminar cualquier obstrucción. De ser necesario reemplazar tuberías y accesorios dañados: uniones, codos, reducciones.
- También se cuenta con tubería metálica, que sale desde el tanque de almacenamiento hacia la caldera, se recomienda realizar una inspección para determinar en qué estado se encuentran y de ser necesario reemplazarlas para evitar cualquier contaminación a la caldera.

BIBLIOGRAFÍA

- 1. GONZÁLEZM.,** Análisis de riegos del Tratamiento del Agua para Calderas., México D.F – México., Editorial Plaza y Valdez., 1999., Pp. 15-25, 35, 39, 65-70.
- 2. GERMAIN L.,** Tratamiento de aguas., España – Barcelona., Editorial Omega, S.A., 1982., Pp. 44-48.
- 3. RIGOLA M.,** Tratamiento de Aguas Industriales., España – Barcelona., Editorial Alfaomega Marcombo., 1990., Pp. 11, 12, 73 – 83, 93 – 114.
- 4. PULL E.,** Calderas de vapor., España – Barcelona., Editorial Gustavo Gili., 1977., Pp. 78-83, 208, 295-300.

5. **KOHAN A.**, Manual de Calderas., Tomo II., España – Madrid., Editorial Mc-Graw Hill S.A., 2000., Pp. 317-320.
6. **SHEPPARD T.**, Manual de aguas para usos industriales., México D.F - México., Editorial Limusa., 1987., Pp. 17-19.
7. **KEMMER F.**, Manual de aguas, su naturaleza, tratamiento y aplicaciones., México D.F – México., Editorial Limusa., 1990., Pp. 67-78.
8. **APHA, AWWA, WPCF.**, Standard Methods for Examination of Water and Wastewater., 17va Ed., España - Madrid., Editorial Diaz de Santos., 1992.

INTERNET

1. RESINAS DE INTERCAMBIO IÓNICO

- <http://www.triwan.com/resinascati%F3nicas.htm>

(2013-03-15)

2. DESMINERALIZADOR DE AGUA

- <http://filtrosyequipos.com/softanano.htm>

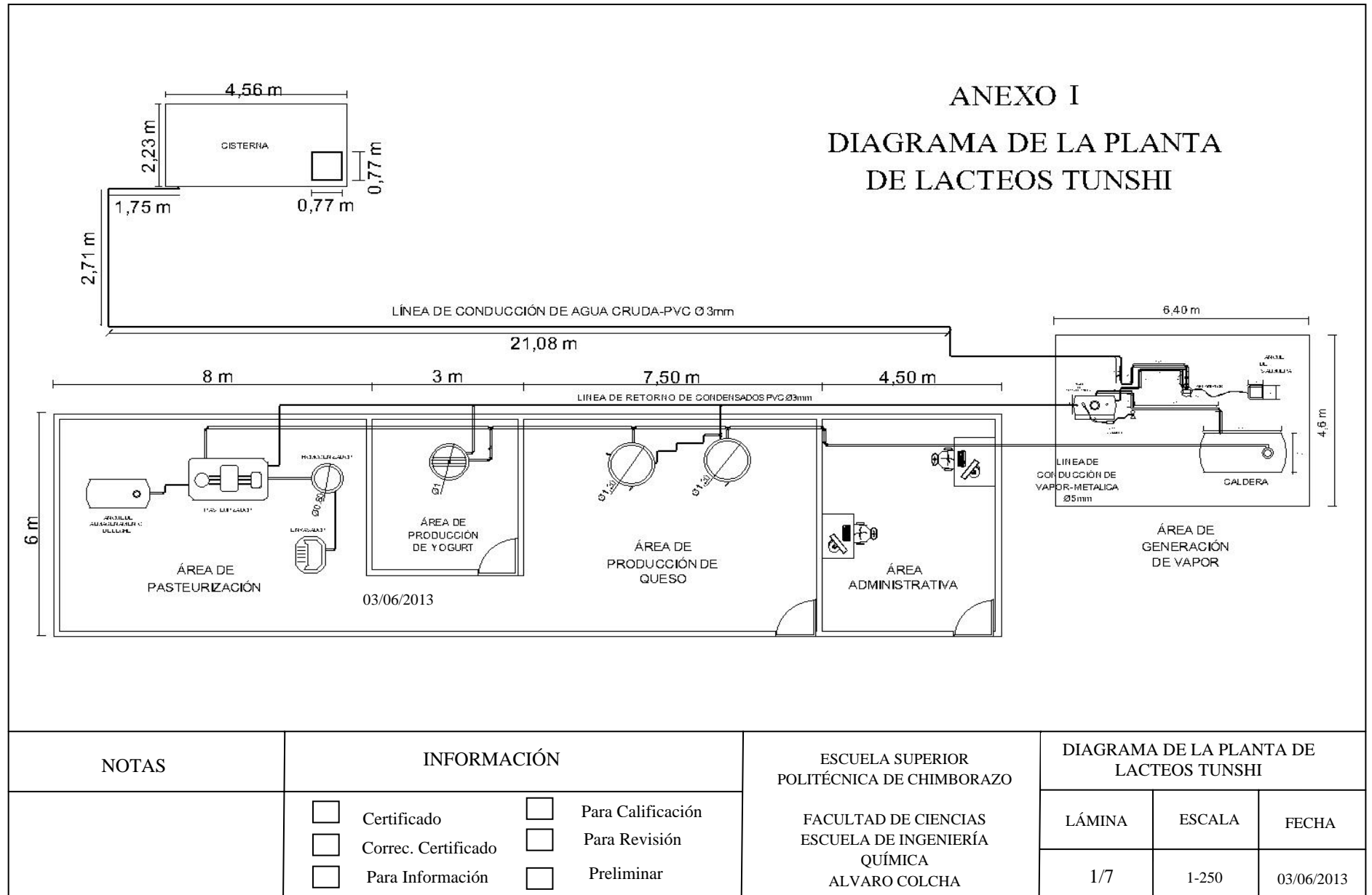
(2013-03-10)

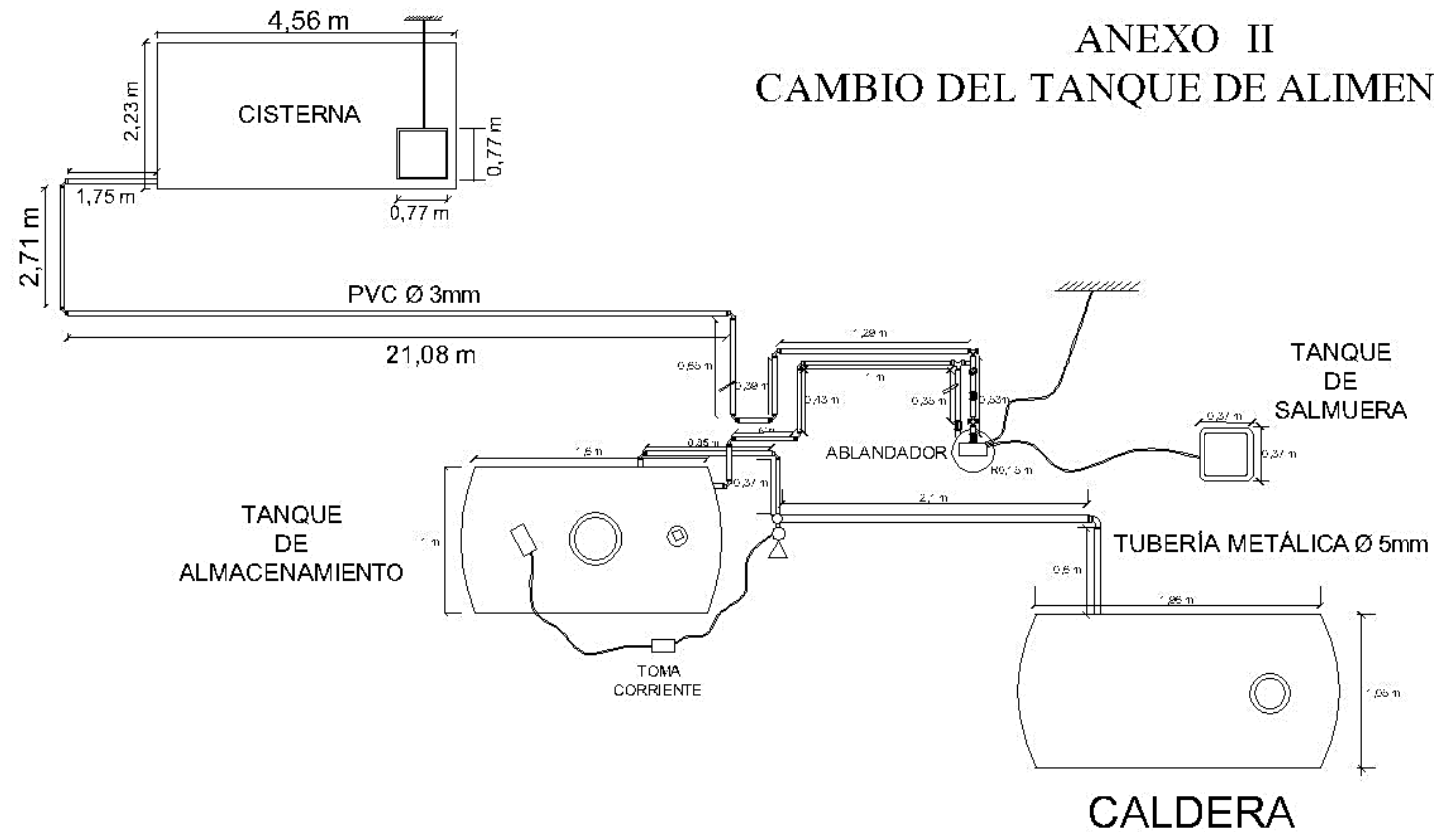
3. TRATAMIENTO DE AGUA PARA SU UTILIZACIÓN EN CALDERAS.

- http://www.cnpml.org.sv/ucatee/ee/docs/Tratamiento_de_agua_v1_1.pdf

(2013-03-07)

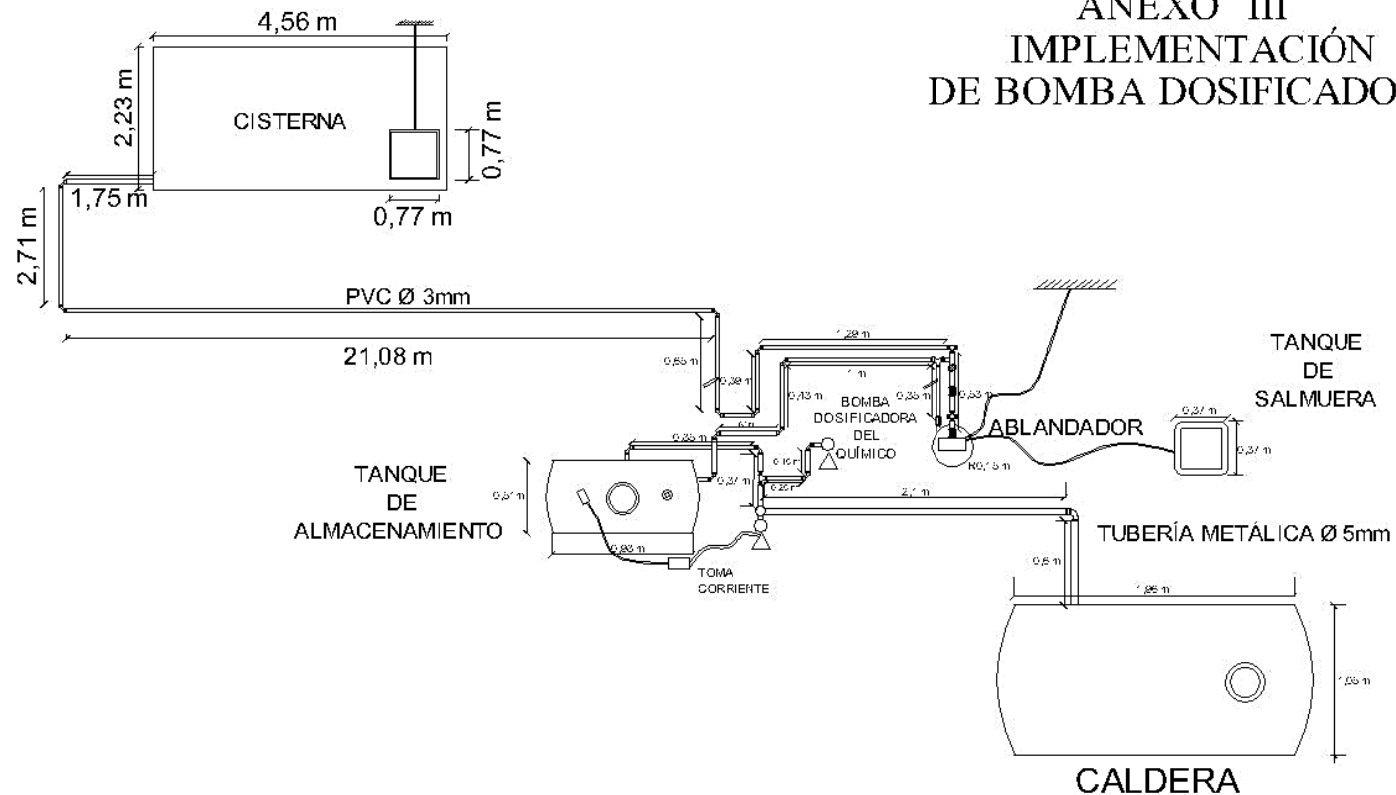
ANEXOS





NOTAS	INFORMACIÓN		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	CAMBIO DEL TANQUE DE ALIMENTCIÓN		
	<input type="checkbox"/> Certificado	<input type="checkbox"/> Para Calificación	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA ALVARO COLCHA	LÁMINA	ESCALA	FECHA
	<input type="checkbox"/> Correc. Certificado	<input type="checkbox"/> Para Revisión				
	<input type="checkbox"/> Para Información	<input type="checkbox"/> Preliminar		2/7	1-250	03/06/2013

ANEXO III IMPLEMENTACIÓN DE BOMBA DOSIFICADORA



NOTAS	INFORMACIÓN		IMPLEMENTACIÓN DE BOMBA DOSIFICADORA		
	<input type="checkbox"/> Certificado	<input type="checkbox"/> Para Calificación	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA ALVARO COLCHA	LÁMINA	FECHA
	<input type="checkbox"/> Correc. Certificado	<input type="checkbox"/> Para Revisión		ESCALA	
	<input type="checkbox"/> Para Información	<input type="checkbox"/> Preliminar		3/7	03/06/2013

ANEXO IV

ABLANDADOR Y TANQUE DE SALMUERA



NOTAS	INFORMACIÓN		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA ALVARO COLCHA	ABLANDADOR Y TANQUE DE SALMUERA		
	<input type="checkbox"/> Certificado	<input type="checkbox"/> Para Calificación		LÁMINA	ESCALA	FECHA
	<input type="checkbox"/> Correc. Certificado	<input type="checkbox"/> Para Revisión				
	<input type="checkbox"/> Para Información	<input type="checkbox"/> Preliminar		4/7		03/06/2013

ANEXO V

TANQUE DE ALMACENAMIENTO AGUA TRATADA



NOTAS	INFORMACIÓN		TANQUE DE ALMACENAMIENTO		
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
	<input type="checkbox"/> Certificado	<input type="checkbox"/> Para Calificación			
	<input type="checkbox"/> Correc. Certificado	<input type="checkbox"/> Para Revisión			
	<input type="checkbox"/> Para Información	<input type="checkbox"/> Preliminar			
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA ALVARO COLCHA			5/7		03/06/2013

ANEXO VI
LA CALDERA



NOTAS	INFORMACIÓN		LA CALDERA		
	<input type="checkbox"/> Certificado	<input type="checkbox"/> Para Calificación	LÁMINA	ESCALA	FECHA
	<input type="checkbox"/> Correc. Certificado	<input type="checkbox"/> Para Revisión			
	<input type="checkbox"/> Para Información	<input type="checkbox"/> Preliminar	6/7		03/06/2013

ESCUELA SUPERIOR
POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA
QUÍMICA
ALVARO COLCHA

ANEXO VII
INCRUSTACIONES



NOTAS	INFORMACIÓN		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA ALVARO COLCHA	INCRUSTACIONES		
	<input type="checkbox"/> Certificado	<input type="checkbox"/> Para Calificación		LÁMINA	ESCALA	FECHA
	<input type="checkbox"/> Correc. Certificado	<input type="checkbox"/> Para Revisión				
	<input type="checkbox"/> Para Información	<input type="checkbox"/> Preliminar		7/7		03/06/2013